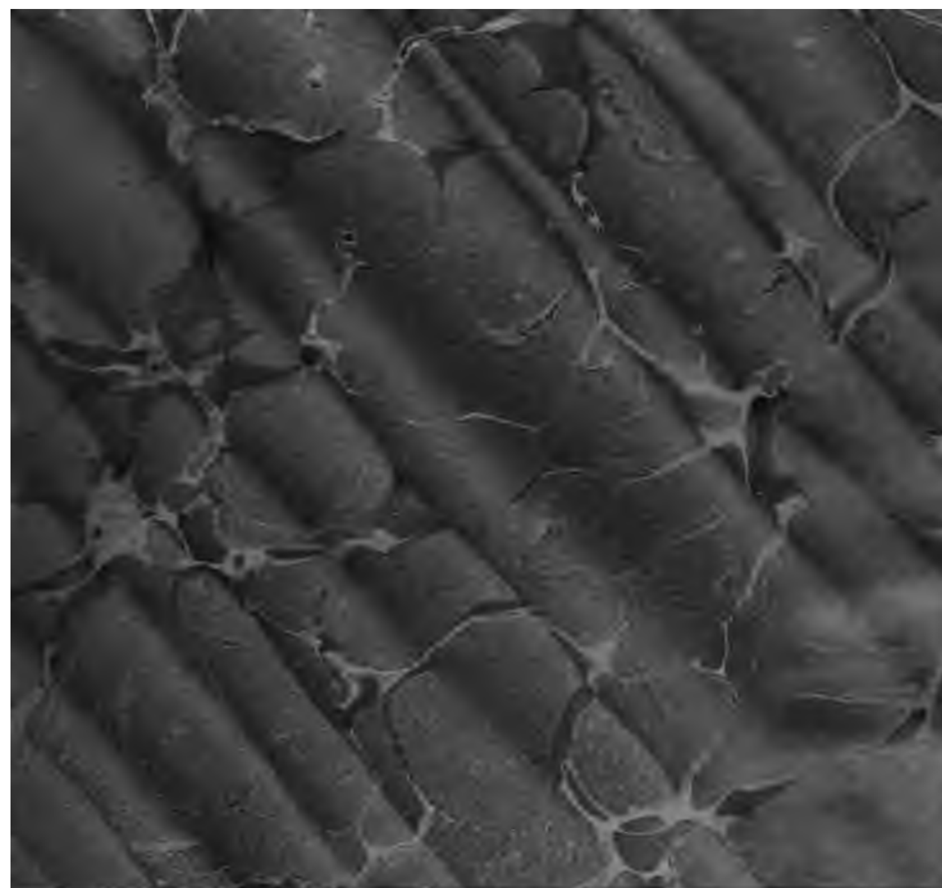


622

A

ANNALES

DES MINES

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une Commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux publics. Cette Commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des Annales des Mines.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé 10 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1f,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0f,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'Etranger.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

DIXIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME IV.

PARIS

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—

1903

ANNALES DES MINES

NOTE
SUR LES
MINES DE BITUME EXPLOITÉES EN ALBANIE

Par M. A. GOUNOT, Ingénieur civil des Mines.

Situation. — Les mines de bitume exploitées en Albanie (*) sont situées par 17° 20′ longitude Est de Paris, et 40° 31′ latitude Nord, dans la Turquie d'Europe, Caza de Vallona, Sandjak de Bérat, Vilayet de Janina.

Le petit village de Selenitza, centre de l'exploitation, est à 15 kilomètres E. N. E. de Vallona (Avlona, Holona, Vlora), port de l'Adriatique dans la baie du même nom.

I

Le massif montagneux qui constitue toute la région est très accidenté, très tourmenté, au double point de vue topographique et géologique.

Le bassin minier proprement dit est situé dans l'angle formé par les deux rivières Vïoussa et Soussitza, à 5 à 6 kilomètres de leur confluent, à l'endroit où les montagnes s'abaissent et se terminent en mamelons venant se raccorder aux deux vallées.

Géologie. — Les terrains appartiennent au tertiaire, lequel est constitué par des bancs d'argiles puissants, des

(*) Des échantillons provenant de ces mines ont été déposés à la collection de l'École des Mines, n° 221.

sables coquilliers, avec Cardites et Cérithes abondants, des gypses présentant en abondance la mâcle caractéristique en fer de lance, le tout reposant sur un calcaire très dur et noirâtre, qui est en quelque sorte la base du massif.

Nous avons dit terrain tertiaire : c'est à dessein que nous ne nous servons pas de la désignation de pliocène, employée par M. Coquand. En effet, ce géologue (*) a pu trouver les signes caractéristiques du pliocène, mais il a fait erreur en émettant l'assertion que c'est au milieu des grès et des poudingues, dans la partie supérieure du pliocène, que le bitume se trouve emprisonné. Le bitume, en réalité, se trouve dans la série des terrains différents, sous des aspects très divers, et le gisement de Selenitza est certainement, à ce point de vue, l'un des plus curieux et des plus intéressants qui se puissent rencontrer, en même temps qu'un des plus complexes en apparence. Tout ce qui suit précisera la question, et la genèse du gisement explique d'elle-même la variété des couches dans lesquelles il se trouve.

Gisements bitumineux. — Le bitume se rencontre à Selenitza sous les quatre formes suivantes, parfaitement distinctes et parfaitement caractérisées :

1° Bitume solide mat ;
2° Bitume solide brillant ;
3° Bitume liquide ;
4° Asphalte.

1° Bitume solide mat. — Ce minerai se présente sous la forme d'amas irréguliers, ou, pour mieux dire, de poches disséminées, sans aucun lien de l'une à l'autre, d'une épaisseur variant de quelques centimètres à quelques

(*) Coquand, *Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. XXV, 1868.

mètres, toujours assez voisines de la surface, rarement profondes de plus de 10 à 12 mètres. Le bitume a une cassure conchoïdale, une belle couleur noire, une assez grande homogénéité. Les parois des poches ainsi que le fond sont le plus généralement nets, exempts de toutes bavures et de tout suintement dans le terrain encaissant. Ce dernier est d'ailleurs le plus généralement une argile jaunâtre compacte ou plus ou moins sablonneuse.

Parfois le minerai se rencontre, avec la même allure d'ailleurs, dans des poudingues, et dans ce cas les contours en sont plus indécis : il y a même des sortes de nerfs, de brèches de bitume plus ou moins disséminés au travers du terrain. Dans ces conditions, le volume des poches est toujours très petit. Ce sont, pour ainsi dire, des mouches éparpillées.

De direction, d'inclinaison, de stratification, voire même d'allure générale, il n'y a nulle trace. On trouve toutes les formes, tantôt semblables à de petits filons, tantôt analogues à des flaques solides ; on rencontre toutes sortes de croisements, de zigzags, de renflements et d'amincissements, des cessations brusques en plein banc d'argile, etc... En un mot, c'est la plus parfaite absence de règle comme de régularité.

La meilleure description est celle-ci : imaginons que, par suite de retraits ou de craquements, ou de fendillements, tels que ceux d'une terre après les pluies sous l'effet d'un ardent soleil d'été, le sol ait présenté des cavités et des gerçures extrêmement variables ; que le bitume soit venu s'y répandre en nappe superficielle à l'état visqueux, et s'y soit solidifié, tant par refroidissement que par perte d'une partie de ses matières volatiles ; qu'ensuite un balayage postérieur se soit produit par des eaux ayant déposé des éléments alluvionnaires sur les flaques bitumineuses solidifiées : on aura l'image exacte du gisement considéré.

Pour nous, la cassure conchoïdale, la densité et l'homogénéité du bitume indiquent qu'il y a eu solidification rapide, c'est-à-dire refroidissement rapide. La matière a dû venir relativement chaude et se figer assez vite ; en effet, si cela n'était pas, la partie supérieure se volatilisant lentement, il se serait produit, en l'absence d'un brassage, une augmentation de teneur en matières lourdes de la surface à la base et une sorte de classement par densité.

D'autre part, il est évident que le remplissage s'est produit par le haut, c'est-à-dire de haut en bas.

Il serait éminemment précieux de retrouver la trace de la coulée. Mais, ainsi que nous l'avons dit, les terrains ont été tourmentés, érodés à la surface, par des phénomènes postérieurs, de telle sorte qu'il y a peu d'espoir de fixer l'origine exacte de l'épanchement bitumineux.

Le bitume mat a la composition suivante :

Bitume soluble dans le sulfure de carbone...	72,69
Eau et perte à 100°	9,12
Cendres	17,19
Substances organiques	1,00
	100,00

C'est, on le voit, un produit d'une richesse extrême, étant donné que le bitume de Trinidad tient en moyenne 34 p. 100.

2° **Bitume solide brillant.** — Le bitume solide brillant, à l'encontre du précédent, ne se trouve que dans une région limitée. En outre, il est toujours dans un seul terrain, un calcaire noirâtre et très dur ; enfin il est toujours en filons parfaitement nets, parallèles entre eux, orientés N. 50° E. et presque verticaux, ou, pour mieux dire, en gisements affectant absolument l'allure filonienne.

Il nous est arrivé de rencontrer, au voisinage des filons de bitume brillant situés dans le calcaire, quelques traces

exceptionnelles de bitume dans des argiles jaunâtres. Mais alors invariablement ce dernier était du bitume mat.

Il est difficile de dire que le bitume brillant soit venu avant ou après l'autre, ou, tout au moins, à une époque différente de l'autre. En effet, le calcaire dur dans lequel il se trouve est bien antérieur aux argiles et terrains où se trouve le bitume mat; mais nulle part il n'est recouvert effectivement par ceux-ci dans la région du gisement. Là où la superposition des dépôts existe, il n'y a plus de bitume brillant. Là où il y a du bitume brillant, le banc calcaire affleure, à peine recouvert par un humus moderne. Par conséquent, il n'est possible d'affirmer ni la différence des venues ni leur âge relatif, rien ne disant que les fissures du calcaire n'ont pas été contemporaines des gerçures des argiles.

Un argument d'un autre ordre viendrait seul à l'appui de l'antériorité du bitume brillant, c'est sa composition en matières volatiles, et surtout en huiles ; mais il n'est nullement probant. En effet, on notera que, comme pour le bitume mat, nous sommes également en présence d'un remplissage de haut en bas. A voir tout d'abord ces filons si nets, si rectilignes, si parallèles, nous avions eu tendance à admettre l'hypothèse jusqu'ici admise d'une injection d'en bas dans des fractures profondes. Il n'en est rien. Nulle part, en profondeur, nous n'avons pu suivre le minerai. Il disparaît à 15 mètres, ou 20 mètres au maximum, la même roche encaissante persistant, mais stérile. Par contre, partout on peut le suivre jusqu'à l'affleurement.

Il y a, en somme, fractures superficielles, comme si le banc calcaire avait subi une courbure dont la concavité serait dirigée vers le centre de la terre et s'était craquelé en surface. Dans ces fractures est venu se glisser le bitume épanché superficiellement, lequel s'y est solidifié et refroidi. La teneur en matières volatiles, plus éle-

vée que dans le bitume mat, vient, suivant nous, du fait suivant : emprisonné dans des fissures étroites et profondes, au lieu de crevasses larges, le bitume ne présentait en dessus qu'une très petite surface d'évaporation, promptement supprimée elle-même par formation de la croûte de refroidissement. Comme conséquence, la masse s'est solidifiée peu à peu sans dégagement gazeux abondant : les gaz sont, en grande partie, restés dans la matière.

En définitive, la genèse, l'origine, la date des bitumes mat et brillant peuvent fort bien avoir été identiques, la différence des terrains encaissants et la variation physique provenant uniquement : 1° de la disposition inclinée des assises, affleurant toutes lors de la coulée du malthe générateur, et par suite capables d'en recevoir toutes dans leurs vides superficiels ; 2° de l'étendue horizontale et de la nature des parois des vides qui ont reçu le malthe.

Le bitume brillant a une cassure encore plus conchoïdale il est d'un plus beau noir que le mat et possède un éclat vitreux — toutes apparences qui s'accordent avec les idées qui précèdent. C'est un produit remarquable dont nous ne connaissons l'analogue en aucun autre pays :

Il donne à l'analyse :

Bitume soluble dans CS^2.........	98,00
Matières insolubles..............	traces
Eau à 100°......................	1,40
Produits charbonneux...........	0,20
Pertes et matières non dosées.....	0,40
	100,00

Le bitume brillant est souvent appelé « Romsi », du nom de la région de la concession, voisine du village de Romsi où se trouvent ses gisements.

Il y a bien encore, à Selenitza, une nature de bitume brillant particulier, intermédiaire entre le mat et le Romsi, qu'on trouve dans le voisinage d'un ruisseau « Ottimo », à

lit large et caillouteux, indiquant l'existence ancienne d'un vaste débit d'eau. Le gisement n'a pas les caractères aussi tranchés que l'un ou l'autre des deux types précédemment décrits. Les épontes sont moins dures qu'au Romsi. Il est employé pour vernis.

Sa composition est :

Bitume soluble dans CS^2..........	94,60
Matières insolubles..............	3,00
Eau à 100°......................	1,00
Produits charbonneux...........	0,80
Pertes et matières non dosées....	0,60
	100,00

3° **Bitume liquide.** — Le bitume liquide se trouve dans une région basse, au voisinage de la rivière Vïoussa, au pied du massif montagneux qui s'abaisse brusquement sur elle.

Ses manifestations ayant donné lieu à des erreurs commises et répétées par plusieurs géologues, erreurs assez naturelles causées par un examen superficiel et rapide, nous nous arrêterons un instant sur elles. Celles-ci d'ailleurs, disséminées en divers points d'une région souvent recouverte par les hautes eaux de la rivière, étaient de nature à éveiller l'attention et à provoquer des hypothèses ingénieuses. Nous les avons étudiées à notre tour, non pas en simple curieux, mais en les attaquant méthodiquement et en appuyant nos recherches de travaux de sondages.

Un heureux hasard a voulu que nous procédions à nos recherches en 1894, et bien nous en a pris. En effet, dans l'hiver 1895-1896, à la suite d'inondations et de pluies considérables, toute la région considérée a été emportée ou conquise par la rivière qui s'y est installée, détruisant tout vestige de ce qui existait. Mais, heureusement, si les points principaux où l'on recueillait le bitume

liquide ont disparu, causant ainsi un grave dommage à l'exploitation, la question géologique était déjà élucidée de manière à ne laisser aucun doute.

Les bas terrains qui bordaient la rivière étaient jonchés de fragments noirs légers que les eaux entraînaient jusqu'à l'Adriatique. Ces fragments étaient du bitume liquide qui, ayant perdu à l'air une partie de ses éléments volatils, s'était peu à peu desséché et réduit à l'état demi-solide, alors que, restant en repos au fond de quelque anse tranquille, il était soumis au soleil et aux agents atmosphériques.

Quant à la provenance, elle était uniforme. Le bitume émanait de ce qu'on appelait les volcans d'air.

MM. Jaccard et Coquand les décrivent comme suit : « L'un d'eux était établi au-dessus d'un lit de galets, sous la forme d'un cône très surbaissé que surmontait un cratère régulier de plus de 1 mètre de diamètre et que remplissait une eau liquide et transparente. A des périodes intermittentes comprises entre cinquante et cinquante-cinq secondes, l'eau du cratère était violemment mise en mouvement par une forte émission de gaz qui venait crever à la surface sous forme de grosses bulles. Chaque émission apportait, avec beaucoup d'eau, une certaine quantité de bitume liquide qui débordait par-dessus les parois du cratère, s'épandait sur les parois du cône, dont il augmentait successivement l'épaisseur et la circonférence, puis venait se perdre dans les eaux tranquilles d'une anse formée par la Vïoussa. Les déjections anciennes qui sont un peu éloignées du cratère deviennent épaisses comme de l'encre d'imprimerie et sont susceptibles de recevoir les empreintes des corps qui les pressent ; le pied de l'homme finirait par s'y enfoncer complètement, si on ne changeait pas de position. » — Et encore : « ce qui frappe le plus dans les volcans boueux et dans les salses, c'est l'impression du froid que l'on ressent en enfonçant le bras dans

leurs cratères et de voir que la température des boues et des eaux est constamment inférieure à celle de l'air ambiant. »

Le phénomène est bien celui décrit, mais la fin est une erreur. L'eau, en effet, n'est nullement froide. Elle est toujours et invariablement chaude, surtout dans les premiers temps, d'autant plus chaude que la venue du bitume est plus abondante. Elle va en se refroidissant alors que le bitume diminue, mais jamais de manière à justifier l'observation. Si l'on a trouvé de l'eau froide, c'est parce que l'air ambiant était chaud, parce que toute eau souterraine semble toujours fraiche pendant l'été et parce qu'il ne s'agissait pas de l'eau qui accompagne le bitume, mais uniquement d'eau ordinaire d'infiltration de la rivière qu'une très faible venue minérale ne suffit ni à déplacer ni à réchauffer.

En présence de ces volcans d'air, la première hypothèse qui devait se présenter était celle d'une émanation souterraine. Et c'est avec cette pensée que nous entreprimes nos recherches.

Or nous avons reconnu, à notre grande surprise, que l'eau, le bitume liquide et le gaz provenaient simplement d'un écoulement à travers une couche de galets de $0^m,30$ à $0^m,50$ d'épaisseur, située à environ $2^m,50$ de profondeur, reposant sur une couche d'argile grise, surmontée d'une autre couche d'argile claire, et, au-dessus de cette dernière, d'une épaisseur de $1^m,50$ à $1^m,70$ de sables d'alluvion constituant le sol extérieur.

Au-dessous de la couche de galets, de même qu'au-dessus d'elle, il n'y avait aucune trace de quoi que ce soit. Les résultats ont été invariables ; dans tous les points fouillés où nous avons mis à nu la couche de galets, ils ont été d'une netteté parfaite.

Partout où nous avons trouvé la couche de galets, nous avons eu du bitume liquide dans les conditions ci-dessus

décrites. Partout où nous ne l'avons pas rencontrée, nous n'avons eu affaire qu'à des argiles et sables stériles.

Les volcans d'air n'étaient donc autre chose que des points où des fissures du sol superposé à la couche bituminifère permettaient aux matières contenues de s'échapper comme par une cheminée. Ce sont, si l'on veut, de petits volcans, mais bien petits pour une si grosse désignation.

La couche bituminifère se comporte comme une nappe à travers laquelle s'épand lentement, gêné par les cailloux qui la forment et qui sont plus ou moins agglomérés, le malthe liquide chargé de gaz hydrocarburés.

Il y a d'ailleurs écoulement. En effet, lorsqu'on met la couche à nu par un puits, on a de l'eau chaude, un abondant dégagement de gaz et du bitume léger presque huileux couvrant l'eau d'une pellicule souvent irisée. Petit à petit, ces phénomènes diminuent, et le bitume liquide arrive plus épais et plus dense. Après quoi la production continue plus ou moins longtemps avec des variations qui indiquent un renouvellement des matières, et elle ne se termine que lorsqu'il y a obstruction des interstices. Un point resté en dehors de la zone enlevée par la rivière fournit du bitume depuis deux années, après trois arrêts complets que trois curages ont pu combattre.

D'autre part, lorsque nous avons eu constaté que c'était à une couche que l'on avait affaire, nous avons tenté de la reconnaître en étendue. Or, sur une série de puits exécutés tout autour de la région et assez rapprochés, fort peu la rencontrèrent. Elle n'existe que sur une zone de 40 à 50 mètres de largeur, oblique à la rivière et allant sous la montagne bordant cette dernière, ce qui indique que c'est moins à une couche réelle qu'on a affaire qu'à une sorte de ruisseau ancien postérieurement recouvert par les argiles et les sables et dans le lit duquel, à travers les galets dont il est pourvu, s'effectue l'écoulement.

Puisqu'il y a écoulement, il y a nécessairement un point

de départ et peut-être même un point où s'opère la génération du bitume liquide. N'a-t-on affaire qu'à une nappe de transport servant de déversoir lent à un réservoir? A-t-on affaire à une production véritable se continuant à l'époque actuelle? Nous n'avons pas encore d'éléments suffisants pour répondre à cette question. Il nous semble cependant que la dernière hypothèse est la plus vraisemblable. En effet, avec la première, il faudrait que l'écoulement se continuât depuis une époque bien lointaine et malgré le refroidissement, ce qui supposerait des conditions bien difficiles à concevoir. En outre, s'il y avait réservoir accumulé, il y aurait dans ce réservoir même dépôt et séparation d'une partie des substances diverses. Il semble donc qu'il devrait y avoir plus d'homogénéité dans les matières qui composent la nappe de transport et, d'autre part, plus de régularité dans la venue, sans ces poussées intermittentes avec prédominance soit de gaz, soit de bitume léger, soit de bitume lourd, soit d'eau chaude, que révèle l'observation suivie. En d'autres termes, le débit serait plus constant, tandis qu'en fait il ne l'est pas du tout.

Ceci posé, où est le point générateur et quels sont les phénomènes qui s'y passent? La détermination de cette question serait, au point de vue géologique, d'un puissant intérêt et jetterait un jour considérable sur des hypothèses jusqu'ici aussi controversées. Nous avons essayé d'en entamer l'étude. Ce sera à l'avenir de la continuer.

A environ 1.500 mètres de la région (Papaz) des petits volcans décrits plus haut se trouve, au flanc d'une montagne, à une cote de 80 à 100 mètres supérieure, un endroit désigné dans le pays sous le nom de fontaine ardente (Skionfour). Il s'y produit d'une manière permanente un dégagement d'hydrocarbures qui brûlent à fleur du sol, de mémoire d'homme. En 1895, nous avons tenté là des fouilles après avoir réussi à éteindre la flamme.

Nous y avons renoncé rapidement pour des causes particulières qui ne sauraient être du domaine de la présente note. Tout au plus avons-nous constaté que les gaz carburés étaient très légèrement mélangés d'hydrogène sulfuré et que le travail des hommes était très difficile, par suite des maux d'yeux et des maux de tête provoqués par la quantité de gaz. D'autres traces de fontaines ardentes analogues, mais éteintes, se rencontrent dans les environs.

Nous avions pensé tout d'abord qu'il y avait une relation entre ces points et la région des « volcans ». L'analogie du dégagement gazeux semblait l'indiquer. D'autre part, l'inflammabilité des gaz nous faisait espérer que nous serions là sur un des points de production dont nous parlons plus haut. Or, bien que nous n'ayons pu terminer notre étude, nous devons écarter l'hypothèse, grâce à une autre recherche qui est venue, semble-t-il, fixer la question. En effet, nous avions observé, en un endroit de la concession éloigné du premier, une partie de sol voisine de la crête d'un mamelon, offrant l'aspect d'argiles calcinées et présentant tous les caractères d'une ancienne fontaine ardente. Les gens du pays se rappellent ou ont entendu dire qu'il y avait eu, là aussi, flamme extérieure permanente. Nous avons attaqué ce point, nous avons suivi les traces d'une sorte de cheminée, et nous sommes arrivé, en fonçant, tout simplement sur une poche de bitume solide mat que nous étions en train d'exploiter.

La question de génération reste donc, pour le bitume liquide, réservée jusqu'à nouvel ordre. En tout état de c use, nous estimons avoir du moins acquis ce qui suit : à savoir que les sources de bitume liquide connues et décrites sous le nom de volcans d'air ne sont autre chose que des points d'émersion, par des crevasses situées au-dessus de lui, du malthe s'écoulant dans une sorte de lit de ruisseau composé de galets et provenant d'une altitude

plus élevée. Ces crevasses constituent des passages par où il arrive au niveau de la surface.

Le bitume liquide a pour composition :

Bitume soluble dans CS^2..........	96,40
Matières insolubles..............	1,90
Produits charbonneux...........	1,00
Pertes et matières non dosées....	0,70
	100,00

Élatérite. — Une variété particulière du bitume, qu'on nomme élatérite, et qui est élastique, se rencontre en petits fragments très rares et toujours très petits, çà et là, sans que nous ayons pu encore émettre sur elle d'opinion rationnelle. C'est un type anormal et quasi accidentel.

4° **Asphalte.** — L'asphalte est abondant à Selenitza ; mais les difficultés et le coût du transport le rendent inexploitable.

Nous avons vu plus haut que, lorsque le malthe a rempli des fissures verticales étroites et à épontes imperméables, on a le bitume solide brillant. Lorsqu'il a rempli des poches à parois peu perméables, avec issue des gaz au dehors, par des fissures étroites à travers le sol qui l'a recouvert postérieurement, il donne lieu au bitume solide mat. Lorsque enfin il a rencontré des terrains perméables, il a, sur son passage, transformé ceux-ci en asphalte par simple imprégnation d'intensité extrêmement variable.

Nous n'avons rien de plus à en dire, sinon qu'il rend à l'exploitation de réels services en servant de combustible, naturellement assez sale et de rendement assez faible, mais extrêmement précieux là où des charbons reviendraient, au point d'emploi, à 38 francs environ la tonne. Sur une grille ordinaire, pour fusion simple du bitume, avec large conduite allant à la cheminée, il brûle bien et chauffe suffisamment.

La composition du bitume pauvre employé comme combustible et appelé « javor » dans le pays, est :

Bitume soluble dans CS^2..........	39,00
Eau à 100°......................	2,85
Produits charbonneux............	16,80
Résidus insolubles..............	40,70
Pertes et produits non dosés......	0,65
	100,00

Irrégularité. — L'exposé qui précède sur les conditions de dépôt et de venue du malthe explique, sans qu'il soit besoin d'y insister d'une manière spéciale, comment les multiples gisements sont irréguliers comme dissémination, comme importance, comme remplissage et comme bases même d'évaluation. Il n'y a pour ainsi dire pas d'application possible des règles ni procédés techniques employés pour les mines ordinaires.

II

L'exploitation doit nécessairement s'adapter aux circonstances locales.

Bitume solide mat. — Avec des poches disséminées, peu profondes, de faibles dimensions et sans lien entre elles, pas de méthode d'ensemble ni d'installations mécaniques applicables. Avec des terrains tourmentés, coupés de ravins et de gorges profondes, pas d'autres transports que le dos de mulet.

Anciennement on ne connaissait qu'un procédé. On grattait le sol, on faisait un petit puits de 6 à 8 mètres au maximum, et on extrayait ce qu'on pouvait sans se donner trop de peine, sans descendre plus bas, même s'il y avait encore du minerai sous les pieds, sans rien étayer ni remblayer. Dès que le chantier devenait difficile, soit par venue

d'eaux, soit par éboulements, soit simplement par nécessité d'un travail jugé pénible, on s'en allait et l'on recommençait plus loin. Les anciens ont de la sorte gaspillé deux montagnes. La circulation est devenue fort dangereuse par suite de l'énorme quantité de trous qui y subsistent et des fissures du sol venant des éboulements et tassements. Il reste là une importante quantité de bitume (quelques milliers de tonnes) qu'on ne peut plus exploiter aujourd'hui. Nous avons essayé de reprendre en sous-œuvre et de plusieurs manières les restes ainsi abandonnés : nous avons dû y renoncer, parce que les difficultés d'eaux accumulées, d'inconsistance du terrain, etc., coûtaient plus cher à surmonter que la valeur à extraire.

En plusieurs endroits, là où des reconnaissances nous indiquaient des poches non trop éloignées et à des altitudes supérieures au fond des ravins voisins, nous avons attaqué par galeries tracées à un niveau présumé celui du fond des poches, et nous avons réussi à installer des séries de petites sous-exploitations méthodiques. Nous avons réalisé ainsi des prix d'extraction sensiblement inférieurs. Mais peu nombreux ont été les chantiers de ce genre. Le système consiste d'ailleurs dans l'établissement d'une galerie principale légèrement montante pour l'écoulement des eaux et courbée suivant les conditions locales. Cette galerie, pourvue d'une petite voie type Decauville, traversait des stériles, recoupait du bitume ou passait sous lui ou près de lui et devait subsister jusqu'à épuisement de la région. A chaque point où le minerai se manifestait, un chantier était ouvert avec aménagement, au voisinage de la galerie, de piliers de soutènement qui ne devaient être abattus (s'ils étaient en bitume) qu'en fin d'exploitation. Chaque chantier fonctionnait donc isolément. A 100 mètres, puis à 180 mètres de l'entrée de la galerie, un petit puits d'aérage était foncé depuis la surface du sol, puits rudimentaire de $0^{m},70$ à 1 mètre de diamètre, sans

boisage, ayant rarement plus de 15 à 20 mètres de profondeur.

Quant à l'abatage, il se fait exclusivement au pic, avec dispositions de chantiers en gradins droits ou renversés, avec ou sans piliers, suivant la forme et les dimensions des poches. Ordinairement une poche offre un ou plusieurs renflements avec quelques prolongements irréguliers. Les formes varient considérablement de l'une à l'autre. Disons, pour fixer les idées, qu'une masse d'un seul tenant de 1.600 mètres cubes est une belle masse. Le plus ordinairement, une telle masse est séparée par de minces filets qui en relient les fractions.

Dans l'exploitation qui précède, il est clair que tout entre et sort par la galerie. C'est éminemment simple. Mais, bien évidemment, pour que ce soit économique, c'est-à-dire indiqué, il faut que la quantité Q de minerai espéré, multipliée par la différence des prix de revient R et R' aux chantiers ordinaires et aux chantiers à ouvrir, donne un produit supérieur au coût d'établissement C de la galerie, c'est-à-dire que l'on ait :

$$Q \times (R - R') > C.$$

Dans tous les autres chantiers, l'exploitation se fait par puits descendant dans le minerai et sortage au dehors, par cordages et treuils, du minerai mis en sacs au fond même. La mise en sac a pour raison d'être le transport qui va suivre et qui se fait à dos de mulets en ces mêmes sacs. Une partie de l'exploitation de ces chantiers est donnée aux mineurs à l'entreprise.

S'il y a lieu à épuisements, ce qui se présente de temps en temps, soit après des pluies abondantes et des infiltrations, soit par suite de rencontres de poches aquifères, etc., cet épuisement se fait soit par pompes à la main, soit par seaux à la corde. En l'absence de machines, il nous est arrivé d'être obligé d'abandonner des chantiers dès

que l'on atteignait le niveau du fond des ravins ou celui des ruisseaux.

L'éclairage, partout, se faisait avec des lampes à feu nu, à l'huile d'olive produite dans le pays même.

La main-d'œuvre n'est pas chère. Le prix d'un ouvrier ordinaire est de 5 piastres, soit 1 fr. 06. Mais nous sommes de ceux qui, après expériences en divers pays, pensent que les mains-d'œuvre s'équivalent. Assurément le travail moyen d'un ouvrier albanais, musulman ou tchobane, ne vaut pas davantage.

Bitume solide brillant. — L'exploitation du bitume brillant est totalement différente. C'est, en effet, exclusivement du travail au rocher. Là, plus d'entreprise, car aucun indigène n'est capable, ni moralement, ni techniquement, de l'effort ni de la persévérance nécessaires.

Nous avons signalé plus haut l'allure d'apparence filonienne, le pendage presque vertical, la dureté du terrain encaissant. Ajoutons que la puissance varie de quelques centimètres, parfois $0^m,02$ à $0^m,03$ jusqu'à $1^m,20$ et $1^m,50$, avec des renflements brusques, des rétrécissements inattendus, bref autant d'irrégularité que dans les poches. Très généralement il y a des venues d'eau plus ou moins sensibles, lesquelles obligent à un épuisement dans les parties situées au-dessous du fond des ravins. Cet épuisement étant parfois très difficile et très coûteux, sans autre moyen d'action que des pompes mues à la main, nous allions le plus rapidement possible au fond du gisement, d'où, après qu'un examen et des recherches nous avaient démontré l'inutilité de pousser plus bas, nous effectuions l'exploitation de bas en haut, par gradins renversés, de manière à laisser successivement noyés les étages du fond que les stériles abattus comblaient, et à réduire par suite au minimum le travail d'épuisement.

Le bitume s'abat parfois au pic ; mais avec une épais-

seur moyenne qu'on peut évaluer à $0^{m},50$, on comprend que la poudre, en sus des travaux de recherches et de quelques travers-bancs, était le plus souvent nécessaire.

Bitume liquide. — Le bitume liquide se recueille de la manière la plus simple, avec la main préalablement frottée de pétrole de manière à éviter l'adhérence à la peau, ou avec des spatules de bois lorsque la matière est assez abondante et doit se puiser plus profondément. Ainsi que nous l'avons dit, le mot liquide n'est pas absolument juste ou ne l'est que très exceptionnellement : c'est visqueux, sirupeux qu'il faudrait dire, et ceci explique qu'on puisse ainsi saisir ledit bitume.

Il n'a pas été trouvé utile de perfectionner le moyen de récolte. En effet, jusqu'ici il n'y a pas eu de production suffisante pour donner lieu à préoccupation de ce genre et, d'autre part, comme il est nécessaire d'établir, en tout état de cause, une surveillance permanente, il s'ensuit que le travail à la main est doublement indiqué.

Purification des bitumes. — Sous cette dénomination, nous dirons sommairement les opérations succinctes auxquelles sont soumis les divers bitumes.

Tout d'abord des triages sont effectués à la main sur le carreau des mines et à réception à Selenitza.

Pour le bitume brillant, cela suffit. Il n'est rien fait autre. Il n'y a, en effet, étant donnée la nature du gisement, aucun mélange de gangues, si ce n'est à l'abatage même. On ne fait qu'un produit nettoyé.

Pour le bitume mat, on fait deux catégories de produits. Les parties bonnes sont livrées telles quelles au commerce. Les parties menues ou sales sont refondues dans des chaudières chauffées à feu nu à l'aide d'un combustible emprunté, comme nous l'avons dit plus haut, au gisement même, et qui n'est autre que de la roche ou terre asphal-

tique. La fusion, additionnée de brassages, a pour effet le dépôt des terres, pierres et matières impures; le bitume pur est décanté au moyen de poches et coulé en pains.

Voici sa composition :

Bitume soluble dans CS^2..........	78,30
Eau à 100°........................	0,20
Matières insolubles...............	21,20
Pertes et produits non dosés......	0,30
	100,00

Pour le bitume liquide, le simple dépôt en grandes cuves suffit à séparer, après un temps plus ou moins long, d'autant plus court qu'il fait plus chaud et que les matières sont plus fluides, le sable entraîné et mélangé.

Il n'y a plus ensuite qu'à expédier les bitumes au port de Vallona, ce qui se fait exclusivement à dos de mulets ou de chevaux, puis de là aux lieux de vente.

Transport. — A titre de renseignements, nous ajouterons que le transport à Vallona, 15 kilomètres à vol d'oiseau, 17 kilomètres effectifs, revient à environ 8 francs par tonne. Il n'y a aucun chemin carrossable, mais seulement des sentiers parfois très difficiles, dont le tracé varie avec les saisons. De plus, il y a une traversée à gué de la rivière Soussitza qui, lors de certaines crues, est impossible.

Vallona, comme presque tous les ports de l'Empire ottoman, ne possède qu'une « échelle », et les navires doivent s'ancrer à 800 ou 1.000 mètres d'elle, ce qui nécessite l'intermédiaire de barques pour les chargements et les déchargements.

De Vallona, la presque totalité des transports se fait par voiliers italiens. Il y a bien la Compagnie du Lloyd autrichien qui fait, pour deux de ses lignes, escale à Vallona; mais l'élévation de ses prix en rend l'usage à peu près impossible.

LE
GISEMENT DE FER SPATHIQUE
DE L'ERZBERG, PRÈS EISENERZ, EN STYRIE

Par M. J. TAFFANEL, Ingénieur au Corps des Mines.

ÉTUDE GÉOLOGIQUE.

Introduction. — Le gisement de fer spathique de l'Erzberg, près Eisenerz, en Styrie, est un des plus puissants et des plus productifs du monde entier. Il est exploité depuis une date très ancienne, puisque les Romains en tiraient leur fer norique, et que les Taurisques, qui occupaient le pays avant eux, le connaissaient déjà ; depuis le moyen âge, la production ne s'est jamais arrêtée, et elle a pris, durant ces cinquante dernières années, un développement de jour en jour plus considérable ; l'exploitation, au taux actuel de plus de un million de tonnes par an, pourrait encore se poursuivre pendant plusieurs siècles sans épuiser les réserves dès aujourd'hui prévues.

Ce gisement très important, très renommé, classique pour ainsi dire, est géologiquement fort mal connu. Des opinions contradictoires ont été émises à son sujet, et, dans ces dernières années, diverses questions ont été soulevées, qui ne semblent pas près d'être résolues. Cette incertitude provient de la rareté des fossiles et des irrégularités de la stratigraphie.

Lorsqu'on a sous les yeux une carte géologique de la Styrie, on saisit tout de suite dans ses grandes lignes la structure générale de la partie Nord des Alpes orientales.

Les terrains primaires et secondaires se succèdent en longues et étroites bandes orientées à peu près exactement Est-Ouest entre le massif métamorphique des Alpes centrales au Sud et le bassin tertiaire du Danube au Nord ; dans l'ensemble, ces diverses couches plongent vers le Nord, pour former le fond de la cuvette tertiaire du Danube.

L'Erzberg se trouve exactement contre le bord Sud de la bande triasique. Les terrains triasiques, dont les couches, généralement fossilifères, se superposent avec une assez grande régularité, ont été facilement déterminées et ne soulèvent pas de difficulté géologique : ils fixent, pour l'âge du gisement, une limite supérieure fort nette. Au contraire, les terrains sous-jacents, à la partie supérieure desquels se trouve le fer spathique, forment un système très complexe de schistes, grauwackes et calcaires où l'on n'a pu trouver pendant longtemps aucun fossile caractéristique. C'est sur l'âge et la stratigraphie de ces terrains que portent les discussions.

Anciennes études géologiques. — La zone des grauwackes. — Anton von Schouppe est l'un des premiers géologues qui se soient livrés à une étude sérieuse de la région (*) : il avait une parfaite connaissance des lieux, et si, depuis 1850, plusieurs de ses déductions ont pu être contestées, ses observations ont fait autorité et sont encore, à l'heure actuelle, d'un très grand secours.

Comme on n'avait encore trouvé aucun fossile caractéristique dans les terrains antérieurs au Trias, Schouppe, sans se prononcer sur leur âge, les a groupés sous la dénomination générale de zone des grauwackes. Dans cette zone il comprend :

(*) Anton v. SCHOUPPE, *Geognostische Bemerkungen über den Erzberg* (*Jahrbuch der K. K. Geol. Reichsanstalt*, 1857).

1° Un schiste argileux qu'il considère comme le terme le plus ancien ;

2° La grauwacke grenue, verte, de l'Erzberg ;

3° Des schistes qui seraient contemporains de la grauwacke ;

4° Des calcaires subordonnés à la grauwacke et aux schistes siliceux et qui renferment les gisements de minerai de fer ;

5° Des schistes et grès rouges que l'on trouve au toit des gisements.

Cette division, qui est simple, résulte d'observations très complexes. Sans entrer dans la multiplicité des détails, nous allons en noter les plus caractéristiques.

L'Erzberg est une montagne isolée de trois côtés par des vallées profondes (Pl. I, *fig.* 1) ; au Sud-Est seulement elle se rattache au massif du Reichenstein par le col de Platten. La formation métallifère, ensemble de calcaires, de minerais et de quelques schistes, sur le détail de laquelle nous reviendrons, occupe tout le flanc Ouest de la montagne (Pl. II, *fig.* 1 et 2) ; elle repose en concordance sur la grauwacke, qui s'arrondit en forme de cuvette fortement inclinée, de telle sorte que le bord inférieur, au fond de la vallée, plonge dans la montagne vers le Nord-Est, tandis que le bord supérieur se redresse verticalement jusqu'au sommet même de l'Erzberg. Sur le flanc septentrional, le gisement est partiellement recouvert par le Trias, dont les assises successives forment les massifs montagneux du Nord. La formation métallifère est donc comprise entre la grauwacke et le Trias.

S'il y a quelque continuité dans la sédimentation, on doit retrouver cette formation de l'autre côté des profondes coupures créées par le creusement des vallées : c'est en effet ce que l'on observe de trois côtés : à l'Ouest, sur les sommets de la Donnersalpe ; à l'Est, en haut du Polster, et au Nord-Est, à une altitude très inférieure, presque au

fond de la vallée où se trouve le village de Trofeng. En ces trois points, les niveaux métallifères sont recouverts par le trias comme sur l'Erzberg, ce qui ne laisse subsister aucun doute sur leur équivalence (Pl. II, *fig.* 3 à 6).

Il n'en est pas de même dans la région Sud, où, à cause de l'inclinaison générale des couches vers le Nord, le trias a complètement disparu. Néanmoins, Schouppe y retrouve des couches qu'il pense pouvoir identifier avec le niveau métallifère : le mont Reichenstein est formé d'une puissante masse calcaire, qui ne contient, il est vrai, que fort peu de minerai, et n'est pas pétrographiquement identique au calcaire de l'Erzberg, mais qui semble être stratigraphiquement la prolongation de ce dernier ; le même niveau serait encore représenté au Sud-Ouest sur le sommet du Wildfeld par une assise calcaire, qui, cette fois, n'est nullement minéralisée.

Pour lever les incertitudes que comporte cette assimilation, il faudrait étudier les terrains sous-jacents : c'est dans cette étude que l'on rencontre les plus grandes difficultés.

Du côté Est, sous les formations de l'Erzberg, du Polster, de Trofeng, et sous le flanc Nord-Est du Reichenstein, la grauwacke est très développée. Sur le flanc Ouest de l'Erzberg, le calcaire métallifère repose encore sur la grauwacke ; mais au fond de la vallée se trouve déjà le schiste argileux graphitique que Schouppe considère comme antérieur à la grauwacke, ce qui donnerait à celle-ci, en ce point, une puissance très réduite. Plus à l'Ouest, de l'autre côté de la vallée, sur le flanc de la Donnersalpe, la grauwacke est complètement absente ; elle est remplacée par une succession de schistes siliceux et de calcaires qui alternent jusqu'à la formation métallifère.

Schouppe a conclu de ces observations que les schistes siliceux étaient contemporains de la grauwacke et constituaient une modification pétrographique du même niveau. Il n'a pas déterminé de quelle manière s'opérait la tran-

sition, ni si le minerai reposait en concordance sur les schistes, comme cela a lieu sur la grauwacke. Il ne s'explique pas sur la question des calcaires intercalés dans les schistes et qu'on ne retrouve pas dans la grauwacke ; il les range dans ses coupes sous la dénomination de calcaires de transition, dénomination commune au calcaire du Reichenstein et au calcaire métallifère, qui sont pourtant tous deux postérieurs à la grauwacke. Enfin il classe dans la zone des grauwackes une partie des schistes et grès rouges qui reposent en discordance sur la formation métallifère, et cela sans autre raison que l'absence complète de fossiles permettant de déterminer leur âge.

Découverte de fossiles dans la zone des grauwackes. — La très consciencieuse étude de Schouppe laissait subsister beaucoup d'obscurités ; quelques années plus tard, la découverte d'un petit nombre de fossiles, suivie des travaux de Stur et Suess (*), permit de préciser un certain nombre de points.

Dans les schistes argileux graphitiques qui affleurent au fond de la vallée de l'Erzbach, et que Schouppe place à la base de la zone des grauwackes, on trouve des boules de pyrite ayant donné lieu autrefois à un essai d'exploitation pour cuivre ; en cassant ces boules, on découvrit quelques Orthocères et des fragments de bivalves ; des recherches postérieures (**) permirent de reconnaître un *Orthoceras* appartenant à une forme de l'étage E de la classification de Barrande, c'est-à-dire du Silurien supérieur : on fut alors en droit d'identifier ces schistes avec les schistes de Dienten, qui leur sont pétrographiquement très semblables.

(*) Stur, *Découvertes de fossiles du silurien supérieur dans les environs d'Eisenerz* (*Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanstalt*, 1864).

(**) G. Stache, *Sur le développement des couches siluriennes dans les Alpes orientales* (*Mittheilungen der K. K. geol. Reichsanstalt*, 1879).

En 1863, Albert Miller, professeur à l'Université de Léoben, montra à Stur un échantillon de fer spathique trouvé par un contremaître sur le flanc même de l'Erzberg, au lieu nommé Gloriette. Cet échantillon contenait une Rhynchonelle rappelant la *Rh. princeps* ou la *Rh. cuboides* et un Spirifer que l'on reconnut plus tard comme étant le *Sp. heteroclitus* de Buch, caractérisant en Bohême les niveaux F et *f* du Silurien supérieur. Ni Miller, ni Stur n'ont vu ces fossiles en place et les recherches postérieures ne donnèrent que des fragments de Crinoïdes et de Brachiopodes non déterminables.

Une troisième découverte beaucoup mieux établie est relative à la carrière de Sauberg, située sur le flanc Sud de l'Erzberg, en dehors du champ actuel d'exploitation du minerai de fer, mais néanmoins au sein de la formation métallifère ; il y a là quelques couches de calcaire, très fortement inclinées vers le Nord, se coinçant rapidement en direction du côté de l'Est, en sorte qu'elles sont entourées de trois côtés par le fer spathique ; on y a trouvé des pygidia de *Bronteus palifer* Beyr. avec le *Bronteus cognatus* et *Cyrtoceras sp.* ; ces fossiles indiquent les étages G et g_1 de Barrande, qui étaient classés au moment de la découverte dans le Silurien supérieur et sont reconnus maintenant comme appartenant au Dévonien inférieur.

Il résulte de ces dernières découvertes que la limite du Silurien et du Dévonien se trouve dans la formation métallifère. Il ne faut pas attacher à cette division un sens trop absolu : on se tromperait en cherchant dans les couches de l'Erzberg une distinction correspondante qui n'existe pas : il ne faut pas oublier que cette classification est établie d'après un très petit nombre de fossiles, et qu'il n'est nullement prouvé qu'il y ait entre le Silurien de Bohême et celui des Alpes orientales un parallélisme absolu dans la subdivision des étages.

Les conclusions que l'on peut tirer des découvertes de

fossiles sont simplement celles-ci : on a trois points de repère : 1° les schistes argileux graphitiques du fond de la vallée appartiennent probablement au Silurien, étage E ; 2° la partie inférieure du gisement, où les fossiles ont été trouvés, est à peu près à la limite du Silurien et du Dévonien ; 3° les premiers terrains fossilifères que l'on rencontre au-dessus du gisement représentent le Trias inférieur (niveau de Werfen). S'il est stratigraphiquement démontré que les schistes argileux graphitiques forment la base de la zone des grauwackes, on peut considérer que l'âge de cette zone est assez bien déterminé par ces points de repère, au moins jusqu'au niveau métallifère.

Age géologique des schistes et grès supérieurs non fossilifères. — Il y a indétermination pour les terrains non fossilifères qui surmontent immédiatement le gisement. Ce sont : d'abord une breche formée de débris des terrains sous-jacents, de puissance irrégulière et faisant parfois complètement défaut ; puis des schistes et grès rouges qui montent jusqu'au niveau de Werfen. La brèche témoigne de phénomènes d'érosion qui ont pu se produire à une époque quelconque entre les périodes de dépôt des terrains encaissants, et il est très difficile de fixer son âge avec précision. Quant au grès rouge, Stur incline à le joindre aux formations triasiques ; il est vrai qu'il est recouvert par les schistes de Werfen, qui forment habituellement la base du Trias dans les Alpes orientales ; mais la concordance des couches semble montrer qu'il n'y eut pas d'interruption dans la sédimentation entre ces deux niveaux, alors qu'il existe une coupure très nette entre le grès rouge et les dépôts primaires. A l'appui de son opinion, Stur cite deux cas, l'un près de Saint-Cassian, l'autre près de Lietzen et Admont où les schistes de Werfen surmontent soit des grès rouges, soit des schistes non fossilifères qui, pour diverses raisons, sont considérés comme

triasiques. On peut donc, à Eisenerz, placer avec assez de vraisemblance la limite du Trias entre la brèche et les grès et schistes rouges.

L'indétermination est alors restreinte à la brèche et à la partie supérieure du gisement; il est impossible et d'ailleurs sans grand intérêt de préciser l'âge de la brèche. Il serait plus intéressant de fixer complètement l'âge du gisement : on ne peut espérer résoudre cette question qu'en étudiant de près la stratigraphie de la formation métallifère.

Description du gisement. — Age géologique de la partie non fossilifère. — Le minerai originel est le carbonate de fer spathique; il est fréquemment accompagné de limonite qui provient de l'altération du carbonate; on en a la preuve dans les morceaux que les mineurs nomment Kernpflinz et qui présentent un noyau de carbonate enveloppé par du minerai oxydé. La limonite est distribuée dans le gisement au hasard des fissures et des affleurements.

La teneur du minerai n'est pas constante : on appelle Rohwand ou Ankérite, un calcaire ferrifère trop pauvre en carbonate de fer pour être exploitable; on rencontre également des bancs de calcaire tout à fait stérile; en fait, il y a toutes les transitions entre le minerai riche et le calcaire stérile.

Outre le minerai carbonaté, le minerai oxydé et les calcaires à divers degrés de minéralisation, le gisement comporte encore quelques lits schisteux, micacés, peu puissants, qui traversent tantôt les calcaires, tantôt le minerai.

On a l'habitude de diviser la formation métallifère en deux parties très différentes au point de vue de l'exploitation : le gisement de Sobberhaggen, qui se développe sur le pourtour de la cuvette, et le gisement principal, qui repose sur le précédent et forme le centre

de la cuvette, à mi-hauteur de l'Erzberg (Pl. I, *fig*. 2). Cette distinction a sa raison d'être dans un degré différent de minéralisation : les calcaires pauvres ou stériles sont fréquents à la base, plus rares dans le gisement principal. Ils ne se présentent pas, dans les deux cas, avec des caractères absolument identiques : dans le gisement principal, ils sont en masses isolées, peu considérables en général, sauf un massif important à l'étage dit des machines ; ils ne sont que rarement limités par des surfaces de séparation bien nettes : d'ordinaire, leur composition passe graduellement à celle du fer spathique ; en désignant par Rohwand les calcaires dont la teneur en fer est inférieure à un nombre donné, on définit artificiellement la surface qui les sépare du minerai proprement dit, et on observe que la forme en est très irrégulière.

Ces caractères sont communs à beaucoup de masses de calcaire pauvre de la zone de Sobberhaggen; mais là, on rencontre aussi de véritables couches limitées à des plans de stratification, parfois très nettement, comme à la carrière de Sauberg, et c'est là ce qui caractérise la base du gisement; toutefois, on ne peut jamais suivre ces couches sur une bien grande longueur, non pas à cause des failles, car les fissures ne semblent jamais donner lieu à des rejets importants, mais parce qu'elles se minéralisent, ou se coincent, ou diminuent progressivement d'épaisseur : en sorte que le nombre et la disposition des bancs pauvres ou stériles que l'on rencontre à partir de la grauwacke sont très variables suivant les points. Un niveau schisteux qui affleure près de Gloriette avec les derniers bancs calcaires, et pourrait être pris comme limite entre les deux parties, ne tarde pas à disparaitre en direction, en même temps qu'apparaissent d'autres lits schisteux en plein minerai, à un niveau supérieur.

En résumé, la division du gisement en deux parties ne semble pas être une distinction organique, fondamentale ;

on n'a jamais rien observé d'équivalent dans les affleurements de la formation métallifère sur la Donnersalpe, le Polster et à Trofeng : c'est probablement un caractère tout à fait local dû aux inégalités de la minéralisation. Aussi, quoique les fossiles dont nous avons parlé aient été trouvés dans la zone inférieure, on n'a pas hésité à en rapprocher le gisement principal et à le classer dans le Dévonien inférieur.

Conclusions des théories exposées. — Les conclusions générales relatives à la géologie de la région d'Eisenerz, telles qu'elles résultent des observations et des théories que nous avons exposées, sont les suivantes : la zone des grauwackes débute au Silurien, étage E, par les schistes argileux graphitiques ; elle se poursuit sans interruption jusqu'au Dévonien inférieur avec des terrains variables, grauwackes, schistes et calcaires, dont la partie supérieure, correspondant aux étages F et G de Barrande, comporte des gisements de fer spathique en relation avec les calcaires ; à ces dépôts succède une période d'émersion qui se termine avec les premières formations de la période triasique. Ces conclusions ont été admises sans conteste jusqu'à ces dernières années et sont encore approuvées par beaucoup de géologues.

Critique de ces conclusions. — Anomalies et irrégularités dans la zone des grauwackes. — Ces conclusions ne sont pas à l'abri de toute critique. On a résolu un problème local par des considérations purement locales. Comme le problème est de nature complexe et délicate, il serait bon d'en mieux fixer les termes par des comparaisons et des équivalences ; il faudrait envisager la question de plus haut, prendre certains niveaux comme points de repère, et étudier leurs relations d'un bout à l'autre de la bande des terrains primaires. On pourrait alors asseoir sa con-

viction sur un faisceau d'observations concordantes, et non plus sur quelques faits isolés et parfois sujets à caution.

Or une telle généralisation est impossible. Le caractère le plus frappant de la zone des grauwackes est l'irrégularité de la stratification. Les éléments dominants sont les schistes et les grauwackes, puis les calcaires, parfois dolomitiques, qui se présentent tantôt en masses épaisses, en lentilles, tantôt en longues couches; il y a aussi, vers l'Est, des grès et des quartzites. Ces éléments sont disposés de telle sorte que, quoique les couches plongent assez régulièrement vers le Nord et ne soient troublées ni par des failles à grand rejet, ni par des renversements, il est impossible d'établir une loi de superposition des couches. Suivant les points où on les observe, on trouve les mêmes éléments à des niveaux tout à fait différents, et avec une importance très variable. La formation métallifère, par exemple, a une puissance de 500 mètres sur l'Erzberg, de 20 mètres sur la Donnersalpe, et F. von Hauer a constaté sa disparition dans le Tullgraben, à 3 kilomètres seulement de l'Erzberg (*). A l'Est comme à l'Ouest, sur une longueur totale de 300 kilomètres, il y a, avec de fréquentes solutions de continuité, toute une série de gisements de fer spathique; mais la stratigraphie est tellement variable que l'on ne saurait dire, avec certitude, s'ils sont ou ne sont pas au même niveau géologique. A Eisenerz, le gisement est au-dessus de la grauwacke; à Dienten, il est compris entre deux grauwackes. A Eisenerz, le minerai est intimement lié à un calcaire métallifère; aux gisements du Saalberg, du Dürrenschober, du Röthelstein, de part et d'autre de l'Enns, il n'y a pas de calcaire; on n'en trouve que plus au Sud, à un niveau certainement très inférieur. A Golrad, à l'Est, on ne reconnait plus rien des formations de l'Erzberg : ce sont

(*) F. Ritter v. Hauer, *Die Eisenerz Lagerstätten der Steyerischen Eisenindustrie bei Eisenerz* (*Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanstalt*, 1872).

des grès rouges qui jouent le rôle prédominant avec une grauwacke siliceuse qui ne ressemble pas à celle de l'Erzberg. Enfin, dans la vallée de Palten, au niveau qui semble correspondre au fer spathique, il y a un gisement d'anthracite étudié par Miller.

Lorsque l'on cherche à suivre, le long de la bande des terrains primaires, chacune des couches qui affleurent dans les environs d'Eisenerz, on se heurte à des difficultés aussi sérieuses que pour la formation métallifère : si l'on voulait identifier les niveaux, il faudrait à chaque instant résoudre un nouveau problème local, afin de déterminer la nature des modifications et des substitutions latérales. Une telle recherche nécessiterait, pour être complète, des travaux géologiques de longue haleine, qui ne sont pas près d'être accomplis. Ainsi les études d'ensemble ne sont pas encore en état de contribuer efficacement à la résolution du problème qui nous occupe ; on est obligé de restreindre ses recherches à une région limitée, et de l'étudier d'assez près pour en connaître avec certitude les dispositions stratigraphiques.

Or le problème local, à Eisenerz, n'est pas aussi facile qu'on pourrait le penser après une simple lecture du rapport de Schouppe.

Difficultés d'observation, irrégularités de la stratification dans les environs d'Eisenerz. — D'abord il faut noter que les observations sont généralement difficiles et parfois incertaines. La végétation oppose un sérieux obstacle aux recherches géologiques. En outre, sur les flancs des montagnes, le vrai sous-sol est presque toujours masqué par des éboulis : les tunnels de la ligne Eisenerz-Vordernberg ont traversé d'assez grandes épaisseurs de ces éboulis, au milieu desquels on rencontrait parfois de puissants blocs calcaires, qui, partiellement mis à jour, auraient pu donner l'apparence d'un affleurement de

couche. Il y a là une cause d'erreur qu'il importait de signaler.

Mais la plus grande difficulté provient de la rareté des points d'observation : c'est là ce qui a empêché Schouppe de mieux éclaircir la stratigraphie de cette région; il a laissé subsister dans son rapport beaucoup d'incertitudes et d'obscurités, dont les plus frappantes concernent les relations entre la grauwacke et les schistes, ou encore le rôle des calcaires du Reichenstein et de la Donnersalpe; ne parvenant pas à connaître la stratigraphie dans ses détails, il l'a synthétisée en quelques grandes lignes, qui risquent de s'écarter beaucoup de la réalité.

Les travaux du chemin de fer Eisenerz-Vordernberg ont montré que les terrains présentaient une complexité que Schouppe n'a dû qu'imparfaitement soupçonner : les tunnels ont traversé les schistes argileux et siliceux, la grauwacke, quelques calcaires, et les schistes de Werfen; presque toujours on a observé une stratification très troublée et de fréquentes variations pétrographiques. Les grandes divisions de Schouppe ne sont pas respectées : sur les flancs du Grössingberg, des schistes de diverses natures alternent avec la grauwacke ; dans le long tunnel de l'Erzberg, deux masses calcaires paraissent intercalées dans la grauwacke. Enfin les différents terrains réunis sous les dénominations générales de grauwackes, schistes, calcaires, se sont montrés partout sous des modifications pétrographiques très variées, permettant de concevoir le passage graduel des grauwackes aux schistes, des schistes siliceux aux schistes argileux.

Il est évident que les observations de Schouppe ont besoin d'être complétées et probablement rectifiées sur plusieurs points. Il est également certain qu'une telle revision est une entreprise particulièrement difficile, parce que les observations sont délicates, que les fossiles manquent et qu'il n'existe point de niveau qui puisse

servir de point de repère. Cela explique pourquoi personne, jusqu'à ces dernières années, n'avait tenté de remanier une théorie que tout le monde considérait comme incomplète et imparfaite.

Théorie nouvelle de M. Vacek. — Ce n'est qu'en 1900 qu'un géologue autrichien, M. Vacek, fit paraître un article sur l'Erzberg, qui s'inspirait d'idées absolument nouvelles (*).

Il avait visité Eisenerz en 1886 : ses observations datent de cette époque. Quatorze ans plus tard, sur la demande de M. Beck, professeur à l'Université de Freiberg, qui désirait, pour un de ses ouvrages, une description de l'Erzberg conforme aux connaissances géologiques actuelles, il publiait deux coupes et développait ses opinions en quelques pages d'un intérêt tout particulier, parce qu'elles bouleversent complètement les idées précédemment admises, et n'en ont pas moins trouvé un certain crédit auprès de plusieurs savants autrichiens.

On avait toujours considéré la zone des grauwackes comme un ensemble géologique continu depuis les schistes de base jusqu'au toit de la formation métallifère : on n'avait jamais observé de discordances permettant de penser qu'il y avait eu des interruptions dans la sédimentation, des phénomènes d'émersion et d'érosion. Or, M. Vacek voit, dans les mêmes terrains, quatre périodes absolument distinctes séparées par des discordances et les ravinements dont témoignent les deux coupes que nous reproduisons (Pl. I, *fig.* 3 et 4).

Suivant lui, le terme le plus ancien est la grauwacke, d'âge non déterminé ; elle constitue le sous-sol général de la région. Sur la grauwacke ravinée reposent en discordance des terrains d'âges variés : au sud de l'Erzbach, c'est le Silurien, étage E, représenté par les schistes

(*) M. Vacek, *Esquisse d'un profil géologique à travers l'Erzberg styrien* (*Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanstalt*, 1900).

argileux graphitiques et les calcaires du Reichenstein qui les surmontent; au nord de l'Erzbach, c'est le Dévonien inférieur, qui comprend uniquement le gisement de Sobberhaggen, où l'on a trouvé les fossiles caractéristiques; plus au Nord, près de Trofeng, ce sont les schistes triasiques de Werfen. Sur l'Erzberg, le Dévonien inférieur est interrompu par une surface ravinée sur laquelle s'est déposée, probablement à l'époque permienne, le gisement principal.

Les questions de fait au sujet desquelles M. Vacek contredit formellement les opinions antérieures sont les suivantes : il place les schistes argileux au-dessus et non au-dessous de la grauwacke ; il n'admet pas que le calcaire du Reichenstein soit le prolongement des formations de l'Erzberg; entre la grauwacke et le gisement, il suppose qu'il y a discordance ; une longue période d'émersion aurait séparé, suivant lui, les dépôts des deux parties du gisement que l'on unissait auparavant en un même niveau géologique. Il ne fait pas mention des schistes siliceux, ni des calcaires intercalés; il limite strictement son étude à l'Erzberg et à la coupe Nord-Sud passant par cette montagne.

A l'appui de ces conceptions nouvelles, M. Vacek n'apporte point d'observation stratigraphique inédite : les données du problème sont toujours les mêmes; seulement il les interprète différemment. Sa théorie ne serait qu'imparfaitement comprise, on ne verrait pas suffisamment les raisons des divergences que nous avons signalées, si l'on ne mettait en évidence l'idée directrice qui lui a servi de guide et qu'il a poursuivie jusque dans ses dernières conséquences. Il a admis la continuité des couches ; il a constamment appliqué ce principe, que les prolongements d'un même niveau doivent être toujours comparables entre eux et de même nature pétrographique. Nous allons voir où conduit ce principe lorsqu'on l'applique aux trois termes principaux de sa théorie : la grauwacke, le

calcaire du Reichenstein, la partie inférieure du gisement de l'Erzberg.

Le long de la bande des terrains primaires et principalement vers l'Est, on rencontre de nombreux affleurements de grauwackes, séparés par de fréquentes interruptions. Si l'on admet la continuité des niveaux, il suffit de fixer l'âge d'un seul de ces affleurements pour avoir un point de repère général. Or, dans la vallée de la Veitsch, la grauwacke forme le terme supérieur d'une série de gneiss étudiés par le Baron von Foullon sous le nom de gneiss de Blasseneck. M. Vacek, estimant que ces gneiss sont antérieurs à toutes les formations sédimentaires des Alpes orientales, place la grauwacke de l'Erzberg à l'origine de la série primaire et ne la désigne que sous le nom de gneiss de Blasseneck. Il se conforme à cette hypothèse lorsqu'il représente les schistes siluriens reposant en discordance sur ce terrain.

Suivant lui, le calcaire du Reichenstein, très puissant, dont quelques bancs à peine sont un peu minéralisés, et qui se montre plus cristallin que les calcaires de Sauberg ou de Gloriette, ne saurait être le prolongement d'aucune des couches de l'Erzberg. Il ne peut être qu'antérieur, silurien comme les schistes de base. M. Vacek fait, en passant, la remarque qu'il est assez surprenant de voir cette formation silurienne puissante et le Dévonien de l'Erzberg juxtaposés sur le même sous-sol de grauwacke; mais il ne donne aucune explication.

Enfin, le principe de continuité, appliqué au gisement lui-même, conduit à des conséquences tout à fait nouvelles. Si l'on examine la coupe de Jugowiz (Pl. I, *fig.* 2), qui, quoique schématique dans son ensemble, est exacte en ce qui concerne la disposition relative des couches aux affleurements, on observe que l'ordre de superposition des couches de calcaire, d'ankérite et de minerai n'est pas le même aux deux extrémités de la cuvette,

près de Gloriette et au sommet de l'Erzberg : on en déduit que ces diverses couches ne peuvent représenter les mêmes niveaux ; alors, si elles ne sont pas contemporaines, si les unes sont superposées aux autres, il faut nécessairement que les plus anciennes aillent se coincer contre les formations antérieures, les plus récentes contre les formations postérieures ; on ne peut pas interpréter autrement leur disparition. On est ainsi conduit à cette double conclusion : 1° Les couches du sommet de l'Erzberg se coincent en profondeur au contact de la grauwacke, ce qui ne peut s'expliquer que par une faille de glissement ou une transgression ; M. Vacek adopte cette dernière hypothèse ; 2° Les couches de Gloriette se coincent au contact du gisement principal, ce qui signifie que le Dévonien a été raviné avant que la seconde partie du gisement ne commence à se déposer. Ainsi le gisement principal est d'âge postérieur ; séparé du Dévonien inférieur et du Trias inférieur par deux périodes d'émersion, il date probablement du Permien, époque riche en venues métallifères : telle est, du moins, l'opinion de M. Vacek.

Par les détails de son interprétation, M. Vacek arrive à montrer que les deux parties du gisement présentent des caractères tout à fait distincts : la partie permienne est presque entièrement dépourvue de calcaires ; on voit sur la coupe que la masse calcaire de l'étage des machines n'est autre que le second affleurement de la couche supérieure de Gloriette, un pointement de Dévonien au milieu du Permien. Les masses isolées que l'on rencontre dans le gisement principal sont des décrochements de la même couche, et leurs formes irrégulières peuvent s'expliquer par les effets du ravinement. Le niveau schisteux de Gloriette, placé au début de la formation permienne, achève de différencier les deux parties du gisement ; les irrégularités de ce niveau ne font que

confirmer la théorie : si l'on observe des intercalations schisteuses à des distances variables des couches calcaires dévoniennes, il ne faut pas en conclure qu'il y a plusieurs niveaux schisteux : c'est une même couche qui se conforme aux inégalités de la surface ravinée des dépôts antérieurs.

Ainsi le minerai permien forme deux cuvettes juxtaposées sur le flanc de l'Erzberg; le fond inégal de ces cuvettes est dessiné par le niveau schisteux, qui va s'amincissant jusqu'aux affleurements du sommet de l'Erzberg, où, de fait, on ne le retrouve pas.

Ces dernières hypothèses sont importantes au point de vue de l'exploitation : les quelques traversées de schistes qu'ont atteintes les galeries annonceraient l'entrée dans le Dévonien, c'est-à-dire la fin du gisement riche : cela réduit beaucoup la puissance probable de ce gisement, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par la simple comparaison des coupes.

Donc, aussi bien au point de vue minier qu'au point de vue géologique, la théorie de M. Vacek modifie complètement les idées précédemment admises; il n'est pas étonnant qu'elle ait rencontré de sérieux adversaires; en tous cas, on ne saurait l'accepter sans l'examiner et la discuter de très près.

Discussion de la théorie de M. Vacek. — Il faut d'abord reconnaître que M. Vacek est parfaitement logique avec lui-même, et que les plus petits détails de ses coupes ne sont que la conséquence raisonnée de principes de continuité, qui, dans beaucoup de régions, ne soulèveraient pas la moindre opposition. Il est même regrettable que son article, purement descriptif, ne mette pas mieux en évidence ce fonds de logique, qui donne à sa théorie un caractère rationnel très séduisant. Il reste à voir si l'application de ces principes est justifiée dans la région

de l'Erzberg et si elle ne conduit pas à des conclusions incompatibles avec la réalité.

En premier lieu, toutes les observations que nous avons rapportées antérieurement semblent établir qu'une stratification très troublée, une sédimentation très irrégulière sont de règle dans les formations primaires de cette région. Les tunnels de la ligne Eisenerz-Vordernberg, percés pendant les années 1889-1890, c'est-à-dire trois ans après la visite de M. Vacek, en ont fourni des exemples frappants. Le principe de continuité est donc au moins très contestable.

Voyons maintenant comment se vérifient dans la réalité les conséquences que l'on en déduit.

En ce qui concerne l'âge de la grauwacke de l'Erzberg, les travaux de chemins de fer ont montré sur les flancs du Grössingberg des couches de grauwacke interstratifiées dans des schistes, ce qui est incompatible avec l'hypothèse de M. Vacek, à moins qu'il n'existe plusieurs niveaux de grauwackes, auquel cas cette hypothèse n'est plus suffisamment justifiée. Donc, sans rien préjuger au sujet de l'identification de la grauwacke et des gneiss de Blasseneck, on peut dire que, dans le voisinage d'Eisenerz, il n'est pas encore prouvé que la grauwacke soit le terme le plus ancien : la question des relations entre la grauwacke, les schistes et les calcaires reste ce qu'elle était auparavant, c'est-à-dire assez mal éclaircie.

Il y a d'autres questions bien plus importantes ; ce sont celles relatives à la constitution profonde du gisement. M. Vacek conclut que le Dévonien inférieur s'est déposé en transgression dans une cuvette formée par la grauwacke. Il faut se rendre compte de la portée de ces termes et de l'amplitude de la transgression : tous les calcaires du sommet de l'Erzberg, dont la puissance totale dépasse 300 mètres, doivent se coincer contre la grauwacke avant l'affleurement de Gloriette ; c'est-à-

dire que, pendant toute la durée du dépôt de ces couches, la transgression ne se serait étendue que sur une longueur de 1.200 à 1.500 mètres. Ceci peut paraître un peu surprenant, d'autant plus que ces dépôts, essentiellement littoraux, ne comporteraient aucun élément détritique : ils se composent, en effet, de carbonate de fer et de calcaires, non pas construits, mais stratifiés, et même, suivant M. Vacek, régulièrement stratifiés. Une telle conception semble peu conforme aux notions géologiques que l'on peut avoir sur la formation des dépôts littoraux. On aurait peine à la justifier par l'observation : Schouppe, qui connaissait très bien le gisement, assure qu'il y a concordance parfaite entre la formation métallifère et la grauwacke sous-jacente. Si cela est ainsi et si la transgression que suppose M. Vacek n'existe pas, il faut bien admettre que les couches de Gloriette et du sommet de l'Erzberg sont au même niveau géologique et ne diffèrent que par l'effet des irrégularités de la sédimentation ou de la minéralisation; dès lors on n'a plus aucune raison pour croire à une interruption entre les deux parties du gisement, et il devient improbable que le gisement principal date de l'époque permienne.

Conclusion. — En résumé, sans contester le grand intérêt qui s'attache aux idées émises par M. Vacek, on peut regretter qu'il n'ait pas cherché davantage à les contrôler par les faits. Sa théorie est en désaccord avec plusieurs observations que l'on avait toutes raisons de croire exactes; à certains points de vue, elle semble tout à fait anormale : il n'y aura donc lieu de l'accepter sans réserve que le jour où elle s'appuiera sur des arguments tirés d'une sérieuse étude stratigraphique.

La géologie locale des environs d'Eisenerz reste obscure, et l'un des mérites de M. Vacek est d'avoir mis en évidence ces obscurités. Il est à souhaiter que les dis-

cussions qu'a soulevées cette nouvelle théorie provoquent des observations et des études sur place, qui permettront de résoudre les nombreux problèmes que soulève cette région des Alpes orientales. Pour le moment, nous pensons qu'il faut s'en tenir aux anciennes déterminations, surtout en ce qui concerne la question la plus importante, c'est-à-dire la constitution du gisement et ses dimensions présumées : le gisement doit être considéré comme dévonien, sans discordances probables entre ses diverses parties, et, par suite, il n'existe aucune raison de penser que ses dimensions sont aussi réduites que les figure M. Vacek.

Hypothèses sur la formation du gisement. — Nous terminerons par quelques mots sur l'origine probable du gisement. Il y a deux hypothèses plausibles : la sédimentation et la substitution ; elles rencontrent toutes deux des partisans et des adversaires.

Dans la première hypothèse, le carbonate de fer s'est déposé, au sein des eaux, en même temps que le carbonate de chaux. Suivant la proportion relative de ce dernier corps, il s'est formé des couches de minerai pur, de rohwand ou de calcaire stérile.

Dans la seconde hypothèse, il y avait à l'origine des calcaires non minéralisés ; ce n'est que postérieurement au dépôt que des eaux chargées de sels de fer, pénétrant les couches avec plus ou moins de régularité, ont substitué, par double décomposition, le carbonate de fer au carbonate de chaux.

On comprend tout de suite que, suivant la manière dont on résout le problème stratigraphique de l'Erzberg, on tend à se rallier à l'une ou l'autre de ces hypothèses. Si l'on estime qu'il existe, comme sur les coupes de M. Vacek, des niveaux calcaires bien définis, conservant leur identité, malgré les fissures, les rejets et le voisinage des

couches minéralisées, on conclut nécessairement que l'origine du gisement est sédimentaire : car une telle continuité est incompatible avec les hasards de la minéralisation par des venues aqueuses postérieures. Au contraire, l'hypothèse de la substitution explique très naturellement les irrégularités des calcaires sans faire intervenir ni les rejets compliqués, ni les surfaces d'érosion de la théorie de M. Vacek.

En sorte que c'est, porté sur un autre terrain, toujours le même problème que nous discutons. Toutefois, certains géologues, qui sont restés fidèles aux anciennes opinions sur la stratigraphie de l'Erzberg, croient néanmoins à une origine sédimentaire, des remaniements postérieurs ayant, dans ce cas, considérablement modifié la physionomie du gisement.

Discussion. — Les arguments que peut fournir la géologie générale de la zone des grauwackes sont les suivants : Si le gisement est sédimentaire, il est probable que les prolongements du même niveau contiennent également du carbonate déposé ou précipité : il doit exister dans la zone un niveau métallifère, ou deux niveaux, suivant M. Vacek. Or, on connait dans la zone des grauwackes une série de couches ou amas stratifiés de fer spathique se succédant sur une longueur de près de 300 kilomètres : on peut voir dans ce fait une bonne vérification de l'hypothèse de la sédimentation. Mais il faut observer que ces dépôts sont fréquemment interrompus sur d'assez grandes distances et que l'on n'a jamais donné la preuve qu'ils appartenaient au même niveau.

L'on est ainsi conduit à poser à nouveau la question de la continuité des niveaux dans la zone des grauwackes, question encore trop discutée pour que l'on puisse en tirer une conclusion nette, dans un sens comme dans l'autre.

Les arguments tirés de la constitution même du gise-

ment sont d'un ordre plus certain ; ils sont généralement favorables à la théorie de la substitution.

Le gisement est encaissé dans des calcaires : or c'est un fait d'observation que les gites de fer sédimentaire sont généralement des formations littorales qui sont accompagnées par des schistes. Il est vrai que M. Vacek considère les calcaires dévoniens comme des couches essentiellement littorales ; mais nous avons dit quelles réserves il convenait de formuler à ce sujet. En tous cas, le voisinage des calcaires est, dans le cas de la sédimentation, une dérogation à une loi qui souffre certainement des exceptions, mais n'en est pas moins très générale. Au contraire, l'hypothèse de la substitution ne peut se comprendre que si la minéralisation a porté sur des calcaires préexistants.

Le minerai non altéré est du carbonate de fer. M. De Launay, Ingénieur en chef des Mines, dans sa « Contribution à l'étude des gites métallifères (*) », sans nier qu'il existe des gisements de fer carbonaté d'origine sédimentaire comme ceux que l'on rencontre dans le terrain houiller, a montré comment il était conduit à penser que les grands amas de fer spathique provenaient de phénomènes de substitution, par l'effet d'un processus analogue à celui des gites calaminaires. L'une des preuves les plus frappantes que l'on en puisse donner dans le cas particulier de l'Erzberg est l'existence des rohwands, qui présentent toutes les compositions entre le calcaire stérile et le minerai pur ; ces rohwands ne se superposent pas en couches régulières, comme cela aurait lieu si la proportion des deux carbonates se déposant simultanément avait varié pendant la durée du dépôt ; la teneur est au contraire très irrégulière, et, dans les parties du gisement où l'on peut suivre la stratification, il arrive souvent qu'un même niveau soit exploitable en un point, pauvre ou stérile un peu plus loin. Il est donc prouvé que

(*) *Annales des Mines*, 9e série, t. XII, p. 119.

le gisement a été affecté par la circulation d'eaux chargées de sels de fer, et qu'il y a eu des phénomènes de substitution du carbonate de fer au carbonate de chaux.

Enfin quelques faits secondaires viennent à l'appui de l'hypothèse de la substitution : on rencontre parfois des druses dans le gisement, indiquant une action de dissolution chimique, qu'une venue filonienne explique simplement. D'autre part, les noyaux de pyrite abondants dans les schistes de base pourraient être dus à la même venue métallifère, qui se serait manifestée par des effets différents dans des terrains de composition différente.

Conclusion. — En résumé, la question de l'origine du gisement dépend avant tout de la solution donnée à la question de la stratigraphie de l'Erzberg. Si l'exactitude des coupes de M. Vacek venait à être démontrée, l'origine sédimentaire serait incontestable, et il ne faudrait pas hésiter à adopter cette conclusion, dût-elle aller à l'encontre de théories ou de lois générales ; l'Erzberg serait une preuve que ces lois souffrent des exceptions. En dehors des idées un peu particulières de M. Vacek, étant donné que la minéralisation n'est pas subordonnée à certains niveaux, mais qu'elle est très irrégulièrement distribuée dans toute la masse de la formation métallifère, l'hypothèse de la substitution devient extrêmement probable ; on n'en peut donner, il est vrai, aucune preuve absolue ; mais cette hypothèse est la manière la plus rationnelle d'expliquer la nature du minerai et des épontes et les irrégularités du gisement.

Pour clore cette discussion, nous avons voulu connaître l'opinion de plusieurs géologues autrichiens, et nous leur exprimons toute notre reconnaissance pour l'obligeance avec laquelle ils ont bien voulu nous répondre.

M. Franz Toula, professeur à l'Ecole polytechnique de Vienne, pose d'abord en fait que l'ancienne détermination

silurienne (dévonienne) du gisement s'applique certainement à quelques calcaires de la zone des grauwackes : cela résulte des découvertes de fossiles : mais, avec M. Vacek, il incline à considérer le gisement lui-même comme plus récent ; toutefois, ajoute-t-il, il ne faut pas attribuer à cette simple opinion un sens trop catégorique : sur les deux questions principales, assimilation de la grauwacke au terme supérieur des gneiss, proportion relative de la formation silurienne-dévonienne dans la totalité du gisement, il estime que le dernier mot n'est pas encore dit.

M. Beck, professeur à l'École des Mines de Freiberg, donne, dans son ouvrage, la théorie de M. Vacek.

M. Franz Kossmat, écrivant au nom de M. Victor Uhlig, professeur à l'Université de Vienne, après avoir rappelé les découvertes de fossiles dans la zone des grauwackes et les schistes de Werfen, ne donne d'opinion nette qu'au sujet des terrains supérieurs au gisement : en particulier, il estime que la brèche du toit date, selon toute vraisemblance, de l'époque permienne. Il ne veut pas se prononcer sur les questions soulevées par M. Vacek. Il pense que l'Erzberg est un gisement sédimentaire considérablement remanié.

M. Hans Hœfer, professeur à l'École des Mines de Léoben, accepte toujours les anciennes déterminations et condamne absolument la nouvelle théorie. Il confirme que l'interprétation qui sert de base aux profils de M. Vacek n'est pas reconnue comme exacte par les ingénieurs d'Eisenerz. Il considère comme une chose certaine que l'Erzberg est un gîte de substitution.

L'ORIGINE ET LES CARACTÈRES DES GISEMENTS DE FER SCANDINAVES

TABERG, ROUTIVARA, KIRUNAVARA, SVAPPAVARA, GELLIVARA, GRÄNGESBERG, NORBERG, DANNEMORA, DUNDERLANDSDAL, ETC.

Par M. L. DE LAUNAY, Ingénieur en Chef des Mines,
Professeur à l'École des Mines.

INTRODUCTION.

Le rôle du fer dans la constitution de la terre est tout à fait essentiel. Les observations, qui peuvent éclairer sur sa métallurgie interne, sur son mode de concentration dans les parties de l'écorce accessibles à nos investigations, sur l'évolution de ses venues profondes au cours des périodes géologiques, sur les déplacements et les remaniements de ses minerais pendant les sédimentations, ou par l'effet des manifestations extérieures diverses auxquelles ils ont pu être soumis, sont donc du plus haut intérêt à tous égards, pour la théorie du globe comme pour la pratique. Des raisons, qui seront développées au cours de ce mémoire et qui se rattachent à tout un ensemble de considérations nouvelles déjà indiquées dans quelques notes relatives aux types régionaux de gîtes métallifères, m'ont conduit à penser que la solution de plusieurs problèmes essentiels relatifs à cette géologie du fer devait se trouver dans les régions voisines du pôle boréal : soit en Europe, dans la Scandinavie et la Finlande ; soit en Amé-

rique, dans le Nord des États-Unis et le Canada (Lac Supérieur, etc.). C'est là, en effet, que l'on observe, avec leur développement maximum et avec l'indice de mouvements permettant d'y établir une sorte de chronologie, la série des terrains cristallophylliens antérieurs à la première faune terrestre, dans lesquels nous pouvons espérer de rencontrer la trace des manifestations internes les plus anciennement subies par la terre, pendant de longues périodes où, suivant toute vraisemblance, l'écorce, séparant l'atmosphère du noyau igné, devait être particulièrement mince. C'est là aussi qu'une énorme érosion, prolongée pendant tout le cours des périodes géologiques successives sur des terrains, qui, depuis leurs plissements primitifs, ont dû rester toujours émergés, a mis à nu les parties les plus profondes, les magmas ultrabasiques, les fonds de creuset cristallisés sous une épaisseur maxima de terrains, les noyaux, où la pure ségrégation ignée du fer, l'opération de simple fusion métallurgique a le plus de chances de s'être exercée. Enfin, pour des causes problématiques, qui ne doivent pas être sans rapport avec les remarques précédentes, c'est là aussi que la sédimentation du fer en a accumulé les dépôts les plus considérables en strates ultérieurement recristallisées.

Deux voyages successifs en Scandinavie (1890 et 1899) m'ont permis de visiter et d'étudier les principaux gisements de fer de ce pays : gisements, qui, par leurs dimensions, constituent, on le sait, une de ses richesses essentielles (*). Ce mémoire a pour objet de résumer et de grouper les conclusions, qui m'ont paru le plus vraisemblables sur leur mode de formation et sur leur méta-

(*) J'ai publié autrefois un premier résumé de mes notes relatives aux districts classiques de la Suède centrale dans le *Traité des gîtes minéraux et métallifères*. J'insisterai ici de préférence sur les districts plus nouveaux, moins connus et beaucoup plus importants comme production, où l'on rencontre surtout des minerais phosphoreux.

morphisme, ainsi que sur celui des terrains cristallophylliens encaissants, sur l'origine des minerais, la cause de leur oxydation plus ou moins avancée, leur relation possible avec des roches éruptives, l'association avec le fer de certaines substances, telles que le phosphore, le titane, le carbone, le soufre, le manganèse, le cuivre, etc.

Les questions théoriques soulevées par ces gisements sont extrêmement nombreuses ; leur intérêt même vient de ce qu'elles touchent à des points encore très obscurs de la science ; on ne peut donc s'attendre à les voir ici résolues avec un égal caractère de certitude, ou même de vraisemblance ; mais je m'attacherai scrupuleusement à montrer le pour et le contre des hypothèses proposées, c'est-à-dire la mesure dans laquelle elles paraissent, jusqu'ici, démontrées ou encore discutables.

J'ajoute — et cette observation était à peine utile — que, pendant des voyages rapides comme ceux que fait nécessairement un étranger dans un grand pays comme la Suède, on est sans cesse tributaire des savants du pays, non seulement de leurs publications écrites, dans lesquelles j'ai largement puisé (*), mais aussi de leurs communications verbales. L'extrême cordialité et la grande compétence des géologues, des directeurs ou ingénieurs des mines norvégiens et suédois rend cette sorte de collaboration particulièrement fructueuse. Ne pouvant nommer ici tous ceux qui m'ont ainsi éclairé et dirigé, je tiens à leur envoyer du moins tous mes remerciements collectifs.

Dans ce mémoire, avant tout scientifique et que l'on peut considérer comme le préambule d'une étude plus générale sur l'ensemble des gisements de fer, il ne sera question

(*) J'espère n'avoir pas fait trop de contre-sens en lisant ces mémoires suédois ou norvégiens. Cependant, si le fait s'était présenté, je réclame d'avance toute l'indulgence des auteurs scandinaves, en raison de l'effort fait pour mettre leurs travaux à la portée du public français, qui a peu de facilités pour les connaître, lorsqu'il n'en existe pas une traduction allemande ou anglaise.

que très incidemment du côté industriel des exploitations. Cependant, comme les mines de fer de la Laponie suédoise attirent aujourd'hui vivement l'attention, quelques renseignements sommaires sur leurs travaux pourront intéresser les lecteurs. Je les donnerai généralement en note pour ne pas interrompre l'étude géologique. Un dernier chapitre, relatif à la question du phosphore, me permettra de grouper des observations relatives à l'association fréquente du phosphore et du fer, qui présente, dans les nouvelles mines de Suède, une importance économique toute particulière, en traitant la question avec quelque généralité.

Groupement géographique et développement historique des mines de fer scandinaves. — Sur une carte de la Scandinavie, les mines de fer apparaissent d'abord disséminées un peu de tous les côtés; cependant, si l'on se borne aux plus importantes et si on néglige quelques gisements isolés, dont le rôle industriel est insignifiant, comme les ségrégations de magnétite éparpillées dans les gabbros de Taberg, Krageró, Ekersund, Lofoten, etc..., on voit aussitôt se dessiner deux groupes très nets : l'un au Nord-Ouest de Stockholm, qui comprend toutes les anciennes mines de la Suède, c'est-à-dire, de l'Est à l'Ouest, Dannemora, Norberg, Persberg, Grängesberg, etc.; l'autre en Laponie suédoise, ou Norrbotten, formé par les mines beaucoup plus nouvelles, sur lesquelles l'effort industriel se porte tout particulièrement en ce moment : Gellivara, Kirunavara, Svappavara, Routivara (Pl. III, *fig.* 3).

Le premier de ces groupes est très homogène et tous ses gisements, comme nous le verrons bientôt, sont analogues, bien que, dans l'un d'eux, Grängesberg, apparaissent des minerais à forte teneur en phosphore, dont la mise en valeur est récente. Partout, dans ce groupe, nous aurons affaire à des lentilles d'oligiste et magnétite

cristallines, interstratifiées dans les couches cristallophylliennes de hälleflints, leptynites et cipolins. On a seulement fait, suivant les progrès de la métallurgie, une sélection entre les divers minerais qu'elles présentent, utilisant d'abord exclusivement, depuis le XIII[e] et le XIV[e] siècle, les minerais de fer purs, qui ont amené la réputation des fers suédois, puis, dans ces derniers temps, abattant les minerais de fer phosphoreux, propres aux fontes Thomas.

Le second groupe, celui de la Laponie, comprend, au contraire, quatre gisements, qui, malgré leur rapprochement géographique, et en dépit d'une certaine analogie industrielle tenant, pour les trois seuls exploités, à la présence du phosphore, offrent, en réalité, des dispositions géologiques tout à fait dissemblables : Gellivara, interstratifié dans les conditions des mines de la Suède Centrale ; Svappavara, probablement analogue, mais avec une association de pyrite cuivreuse et avec certaines allures, sans doute fortuites, de dyke filonien ; Kirunavara, formé d'une masse de magnétite compacte, intercalée entre deux coulées de porphyre sodique ; enfin Routivara, ségrégation de magnétite titanifère à 14 p. 100 d'acide titanique dans un gabbro. Il était peut-être utile de faire de suite cette remarque pour aller au-devant d'une confusion assez naturelle, qui pourrait se produire *a priori* dans l'esprit du lecteur entre ces quatre grands gisements lapons.

Le développement des mines de la Suède Centrale est très ancien, et il me parait superflu d'en raconter l'histoire. Dannemora remonte, dit-on, au XIII[e] siècle ; à Norberg le premier privilège est de 1354 ; Persberg est à peu près de la même époque. Ces trois grandes mines ont eu tour à tour la prédominance : d'abord Dannemora ; puis Persberg, qui fut longtemps la première mine de Suède ; enfin Norberg, qui tenait de beaucoup la tête en 1890, et il en est résulté, sur ces gisements, d'immenses tranchées à

ciel ouvert, dont l'aspect pittoresque est bien connu.

Depuis dix ans, il s'est opéré un déplacement complet des centres industriels, et l'on a vu le premier rang passer à des mines autrefois sans importance, telles que Grängesberg ou Gellivara, dans lesquelles dominent les minerais de fer phosphoreux. A Grängesberg, par exemple, les premières concessions datent bien de 1714 ou surtout de 1785 ; mais les nombreuses petites exploitations, qui en étaient résultées, n'avaient jamais eu grand développement jusqu'au jour où l'on commença à traiter les fontes phosphoreuses, et il y eut même une époque où l'on défendit d'exploiter les minerais de Grängesberg pour ne pas nuire à la réputation des fers suédois. De même à Gellivara, le gite, mentionné pour la première fois dans un document de 1704 sous le nom de Illuvara, puis approprié en 1735, fut bien, au cours du XVIIIe siècle, l'objet d'une série de tentatives d'exploitation ; mais les compagnies s'y succédèrent sans succès jusqu'à la formation de la compagnie actuelle, l'« Aktiebolaget Gellivare (*) Malmfält », qui date de 1890. A Svappavara, on n'a, depuis le XVIIe siècle, exploité que le cuivre, et la montagne de fer de Kirunavara était encore entièrement vierge quand j'ai visité le gisement, en 1899. Quelques chiffres statistiques vont mettre en évidence ce déplacement.

Si l'on se reporte simplement à la période de 1870-79, on voit que les principales mines de fer suédoises étaient alors : 1° Norberg (101.000 tonnes) ; 2° Persberg (48.000 tonnes); 3° Striberg (39.500 tonnes); 4° Grängesberg (39.000 tonnes) : 5° Dannemora (35.000 tonnes). Le total annuel moyen des minerais de fer extraits en Suède était, à cette époque, de 750.000 tonnes.

En sautant seulement dix années pour arriver à la période de 1891-1895, on trouve, en tête, Gellivara avec

(*) Les Suédois écrivent ordinairement Gellivare, Routivare, etc.

une production moyenne annuelle de 353.000 tonnes; Grängesberg, avec 320.000 tonnes; puis Norberg, avec 136.000, et Dannemora, avec 55.000 tonnes; au total, pour l'ensemble du pays, 1.517.000 tonnes.

Depuis dix ans, ces chiffres se sont considérablement augmentés.

Gellivara a produit: 600.000 tonnes en 1897, 800.000 en 1898, autant en 1899, plus de 1.000.000 en 1900. Grängesberg a produit 639.000 tonnes en 1896, 630.000 en 1897, 800.000 en 1899, 1.000.000 en 1901; enfin, Kirunavara s'est outillé pour produire 1.200.000 tonnes en 1903 et a pris, vis-à-vis de l'État, l'engagement de continuer à fournir annuellement au moins le même tonnage au transport par rails vers la mer du Nord.

Cette grande production actuelle, très probablement destinée à s'accroître encore, se compose, pour la presque totalité, de minerais à très forte teneur en phosphore, autrefois méprisés, et il a fallu naturellement attendre, pour y arriver, la révolution métallurgique réalisée par le traitement des fontes phosphoreuses. C'est ainsi que les régions du Norrbotten, assez justement considérées autrefois comme un pays rébarbatif, abandonné aux Lapons, aux moustiques et aux rennes, sont en train de devenir un des grands centres miniers européens; mais ce progrès a demandé, en outre, l'établissement de moyens de transport par voie ferrée, qui atteignent à peine leur achèvement au moment où j'écris.

Toute l'ancienne histoire financière des Compagnies qui se sont suivies à Gellivara a été dominée par ce problème.

Dès 1848, une première compagnie anglaise, qui succéda, dans la propriété de cette mine, au roi Carl XIV Johan (1818-1848), avait fait un essai pour relier Gellivara à la côte par une ligne ferrée et des canaux. Après une seconde, qui dura de 1869 à 1884, une troisième com-

mença à relier la mine à Luleå par une ligne de 210 kilomètres, qui, d'après le plan original, pour lequel l'État donnait une garantie, devait déjà être continuée jusqu'à Kirunavara et Ofot-fjord. La Compagnie n'ayant pas rempli les conditions du traité, le Gouvernement suédois reprit la ligne en 1891 et la compléta jusqu'à Gellivara. La Compagnie actuelle, formée en 1890, a transporté en 1898, par cette ligne, jusqu'à Luleå, 846.928 tonnes de minerai.

Mais il restait à résoudre la question, non moins grave, d'atteindre Kirunavara et de relier cette dernière mine à la côte de l'Océan Atlantique, où la mer ne gèle jamais, tandis que, sur la Baltique, les embarquements sont impossibles pendant cinq mois au moins : ce qui oblige à emmagasiner des stocks considérables à Luleå (d'autant plus que l'État exige assez naturellement la continuation de trains de minerai en hiver pour régulariser le trafic de sa ligne).

La construction de ce chemin de fer de Gellivara à Ofot-fjord a subi des vicissitudes, qu'il n'est pas sans intérêt de rappeler. Dès 1884, on en avait reconnu la nécessité, et la Compagnie de Gellivara en avait fait les études ; ce n'est pourtant qu'en avril 1898 que les deux parlements suédois et norvégien ont réussi à se mettre d'accord pour en voter l'exécution et les fonds. Le vote des deux parts n'a pu être obtenu qu'après une discussion laborieuse et à une très faible majorité, malgré l'appui ministériel. Les raisons, qu'on faisait valoir contre le projet et qui furent longuement développées, étaient de deux ordres. En premier lieu, la Norvège n'était nullement disposée à se relier davantage au « peuple frère » suédois par une voie ferrée, dont elle ne voyait pas l'intérêt pour elle-même. En Suède, d'autre part, on objectait la concurrence désastreuse que ces minerais nouveaux allaient, disait-on, faire aux anciens minerais de Suède, et l'on soutenait qu'il serait beaucoup plus sage de les garder en réserve pour l'avenir, afin de

les vendre seulement quand les autres grands gisements de fer du monde seraient épuisés.

Quoi qu'il en soit, la ligne a fini par être votée et on vient de l'ouvrir au trafic; elle comporte : de Gellivara à Luossavara, 105 kilomètres ; de Luossavara à la frontière norvégienne, 142 ; de la frontière à la côte, 36 ; en tout, 283. La part contributive du Gouvernement suédois est, je crois, de 39,2 millions de francs (28 millions de kroner), soit 156.000 francs par kilomètre, les frais de construction seuls étant évalués de 110 à 140.000 francs le kilomètre(*). En revanche, la Compagnie de Kirunavara s'est engagée à transporter par an 1.200.000 tonnes.

Classification géologique des gisements de fer scandinaves. — Les gisements de fer scandinaves peuvent être classés géologiquement dans trois groupes principaux :

1° Amas de ségrégation directe en rapport immédiat avec une roche basique, dont ils dérivent (gabbro, hypérite à olivine, syénite néphélinique), gisements constitués souvent de magnétite, parfois de magnétite titanifère ou de fer titané (Taberg, Kragerö, Ekersund, Lofoten, Routivara, Alnö, etc.);

2° Amas de Kirunavara-Luossavara, d'origine discutée, en relation possible, mais problématique, avec des porphyres, dans lesquels ils apparaissent encaissés ;

3° Amas lenticulaires en chapelets dans les terrains métamorphiques, archéens ou siluriens, résultant très probablement de la recristallisation de dépôts sédimentaires (Svappavara, Gellivara, Grängesberg, Norberg, Persberg, Dannemora, Dunderlandsdal, etc.).

C'est dans cet ordre que nous allons les passer en revue tour à tour.

(*) On estime que la ligne totale de Luleå à Ofot-fjord aura, pour 483 kilomètres, coûté un peu plus de 100 millions.

CHAPITRE I.

I. — AMAS DE SÉGRÉGATION DIRECTE EN RELATION AVEC DES ROCHES BASIQUES.

A. *Gisements dans des gabbros, hypérites à olivine, etc., à Taberg, Kragerö, Lofoten, Routivara, Välimäki.* — B. *Gisements dans des syénites néphéliniques à Alnö.*

Les amas de ségrégation directe constituent un type tout à fait caractéristique des régions scandinaves ou de leurs homologues, tels que le Canada et le Nord-Est des Etats-Unis. Les phénomènes de différenciation proprement dite, n'ayant pu s'opérer que sous un couvercle épais de roches solides, c'est-à-dire en profondeur, ne peuvent être observés, en principe, que dans les régions du globe, où les zones originellement profondes de l'écorce se sont trouvées mises à nu par une très longue érosion. C'est peut-être pourquoi, lorsqu'on a essayé de généraliser les résultats pétrographiques des géologues scandinaves ou nord-américains, lorsqu'on a voulu les étendre sans discussion à l'Europe centrale ou méridionale, on s'est heurté à des objections constantes ; c'est aussi pourquoi il ne faut espérer rencontrer que très exceptionnellement dans ces dernières régions les types de gisements métallifères, dont il va être question ici.

La ségrégation est, parmi toutes les opérations chimiques et métallurgiques, auxquelles ont été soumis les éléments minéraux dans l'écorce terrestre, celle qui paraît reproduire le plus exactement les conditions de notre métallurgie ordinaire, de ses fusions ignées dans des fours ou dans des creusets. Il y a eu là scorification, action réductrice de gaz carburés, isolement de métaux. En ce qui concerne le fer, nous allons voir comment ce métal s'est concentré dans les fonds de creuset avec quelques autres corps chimiques, tels que le titane ou le chrome, tandis que

d'autres substances, comme le phosphore, passaient dans les scories, d'autres encore, comme le nickel, tout en restant dans le magma métallique, avaient une tendance à s'isoler, à se localiser vers sa périphérie.

Généralement, le résultat de cette métallurgie, tel qu'il nous apparaît, n'a pas été complet ; l'isolement du fer n'a pas été poussé jusqu'au bout; sans doute par suite de la présence de l'eau, qui a dû jouer un rôle si actif dans tous les phénomènes de géologie profonde, et en raison de sa dissociation, l'oxygène était trop abondant pour que le fer, emprisonné dans ces scories qui sont nos roches, même dans les plus basiques d'entre elles, pût (autrement qu'à titre très exceptionnel) rester à l'état natif. Le fer natif, il doit se trouver plus bas, dans les zones ultra-profondes, que nous ne connaissons pas sur la terre (*), qui ne nous sont révélées que par les météorites. Mais l'élément caractéristique de ces ségrégations, c'est le fer incomplètement oxydé, c'est la magnétite et, suivant une remarque précédente, la magnétite associée avec le titane, parfois aussi avec l'alumine.

Les gisements dont il va être question appartiennent à deux groupes distincts : les uns en relation avec des roches du groupe des gabbros; les autres, beaucoup plus exceptionnels, rattachés à des syénites néphéliniques.

A. — GISEMENTS DANS LES GABBROS, HYPÉRITES A OLIVINE, ETC.

D'une façon générale, on a divisé les gabbros norvégiens en deux groupes (**) : les hypérites à olivine (roches

(*) Il est inutile de rappeler combien la zone de l'écorce terrestre, accessible à nos investigations, même en tenant compte de tous les phénomènes géologiques qui ont pu en ramener des parties profondes vers la surface, est insignifiante relativement au rayon de la terre.

(**) Le gabbro n'est, en réalité, qu'une diabase, où le pyroxène augite, associé au plagioclase, est remplacé par un pyroxène lamellaire (diallage); avec un pyroxène rhombique (enstatite, hypersthène), on a les norites

très ferrugineuses par elles-mêmes), avec ségrégations oxydées d'ilménite, rutile et parfois apatite (*); les norites (moins ferrugineuses), avec ségrégations sulfurées.

Taberg, Långhult, Inglamåla. — C'est, par exemple, au premier groupe qu'il faut rattacher le gisement classique de *Taberg* en Smaland (au Sud du lac Wettern), bien connu par les descriptions de A. Sjögren et A.-E. Törnebohm (**). Il existe, dans cette région, vers la limite Sud des lacs Wenern et Wettern et, plus loin, jusqu'à Oscarshamn, sur la Baltique, une curieuse traînée N.O.-S.E. de roches diabasiques et ophiolithiques, en relation avec un accident tectonique, marqué : dans l'Ouest, par des terrains cambriens et siluriens au milieu du gneiss; à l'Est (de Jönköping à Oscarshamn), par des gneiss dans le granite. La montagne de Taberg est formée (*fig.* 1) d'une hypérite à olivine, vers le centre de

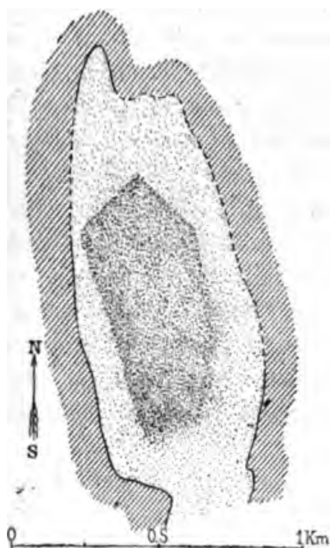


Fig. 1. — Carte schématisée du gisement de Taberg (d'après M. Vogt), montrant le passage de l'hypérite à olivine (sur la périphérie) à la péridotite à magnétite (dans la partie centrale).

---

et hypérites, qui se rattachent très intimement aux roches précédentes; mais les différences dans la teneur en fer sont très notables de l'une à l'autre : 3 à 5 de FeO, dans l'enstatite : 5 à 14, dans la bronzite ; 10 à 14, dans le diallage : 14 à 34, dans l'hypersthène. On a, de même, 1 à 4 de FeO dans le diopside, 10 à 16 de FeO dans l'olivine.

(*) Je reviendrai, plus loin (p. 173) sur cette question de l'apatite dans les gabbros, qui se rattache assez intimement à la théorie des gisements de fer.

(**) A. Sjögren. *Om förekomsters af Tabergs Jernmalmfyndigh et*

laquelle s'est concentrée une péridotite à magnétite, essentiellement formée de titano-magnétite et d'olivine, avec un peu de biotite et un plagioclase très basique, qui fait défaut dans les zones les plus ferrifères. Törnebohm a pu suivre pas à pas la transition de l'hypérite à olivine, assez pauvre en magnétite et olivine, vers l'hypérite à olivine riche en ces deux minéraux et, enfin, vers la péridotite à magnétite sans feldspath.

Ce minerai, en outre de la présence du titane, est remarquable par celle du vanadium (0,12 à 0,40 p. 100 d'acide vanadique dans le minerai ; 0,25 dans la scorie).

Des cas du même genre se retrouvent, d'après M. Vogt, qui a spécialement étudié ces minerais de ségrégation, à *Långhult* et *Inglamàla*, où la teneur en vanadium est la même, etc., et ce savant leur a comparé les minerais d'Iron-mine-Hill (Rhode Island), décrits par Wadsworth.

Kragerö. — Dans le Sud de la Norvège, la région de *Kragerö*, depuis longtemps connue par les travaux de Kjerulf et Dahl (*), présente, à Langö et Gomö, de semblables hypérites à olivines, dans lesquelles se sont concentrées, d'abord une roche ferrifère à plagioclase, puis une enstatite à ilménite (l'enstatite très ouralitisée), arrivant à contenir 60 p. 100 d'ilménite.

Bogstö. — Ailleurs, en Norvège encore, à *Bogstö* en Skonevig, il s'est concentré, dans un gabbro, un gabbro à ilménite, correspondant aux minerais de fer titanés que

---

Småland (*Geol. Fören. Förhand.* t. III, 1876 : t. VI, 1882 ; — et *Neues Jahrb. f. Min.*, 1876, p. 434) ; — A.-E. Törnebohm, *Om Taberg i Småland* (*ibid.*, 1881, p. 610). — Cf. Daubrée, *Gisements de Scandinavie*, 1846, p. 24.

(*) Kjerulf et Dahl, *Om jernetsernes forekomst ved Arendal, Naes og Kragerö* (traduit par Fuchs, *Annales des Mines*, 6e série, t. IX., p. 269).

N.-H. et H.-V. Winchell ont décrits au milieu des gabbros du Minnesota (*).

Ekersund, Lofoten, Krekling. — Dans le même ordre d'idées, j'ai décrit précédemment, ici même (**), les concentrations de fer et de titane, qui se produisent sous la forme de magnétites titanifères et de fers titanés au milieu des gabbros norvégiens : concentrations surtout intéressantes par le phénomène qui y a rassemblé, dans des proportions notables, ce corps relativement rare, le titane (***).

Je me contente de rappeler : le cas d'*Ekersund-Soggendal*, dans le Sud de la Norvège; celui des îles *Lofoten* et *Westeraalen*, où, dans une roche de labrador et d'hypersthène, s'est concentrée, à Andopen, une titano-magnétite, d'abord associée avec du labrador et du diallage, puis avec du diallage, et enfin isolée ; enfin le gîte de *Krekling* (6 kilomètres Est de Kongsberg), où, dans un gabbro à diallage, des silicates ferro-magnésiens se sont concentrés avec 40 p. 100 de titano-magnétite et, fait exceptionnel, jusqu'à 25 p. 100 d'apatite. Enfin, le cas le plus remarquable de beaucoup dans cet ordre d'idées et celui qui nous intéresse tout particulièrement par son rapprochement géographique

(*) *Geol. nat. Hist. Survey of Minnesota*, Bull. n° 6, 1891.

(**) *Annales des Mines*, janvier 1903.

(***) Dans le Canada et le Nord-Est des États-Unis, les gîtes analogues sont nombreux. Tels sont par exemple ceux de Port-Henry, dans l'État de New-York (KEMP, *Trans. Am. Inst. of Mining Engin.*, Chicago Meeting, février 1897, et *Zeits. f. prakt. Geol.*, 1897, p. 318). On a là, dans les gneiss, au milieu d'un champ de Labradoritfels, ou anorthosite, des gabbros (diabases à gros grains), ayant subi un plissement précambrien. Des ségrégations de magnétite titanifère se sont faites dans le cœur des gabbros : des magnétites non titanées forment, en outre, des veines au contact du gabbro ou au voisinage de ce gabbro. Ces veines sont en relation intime avec des pegmatites, contenant de la hornblende et de la magnétite, avec, accessoirement, de l'apatite, du zircon, de la titanite et de l'orthite cristallisée : on trouve de plus des masses de quartz à magnétite avec fluorine, dont nous aurons à nous rappeler l'existence en discutant la formation des gîtes de Gellivara.

avec les autres grands gisements de Laponie suédoise, dont il sera question ultérieurement, est celui de Routivara en Norrbotten.

Routivara (*). — Le gisement célèbre de Routivara est actuellement à peu près inaccessible (**), et sa très forte teneur en titane, jointe à cette difficulté d'accès, le rend, jusqu'à nouvel ordre, sans valeur pratique et industrielle. Mais il ne constitue pas moins un énorme amas de fer, l'un des plus grands du monde, dont la section horizontale, intermédiaire entre celle des deux grands gisements de Kirunavara et Gellivara, atteint 300.000 mètres carrés (1.600 mètres sur 300). C'est, d'après les descriptions de MM. Petersson et Sjögren, un très beau type de ségrégation ferro-titanée dans un massif de gabbro du groupe des hypérites à olivine. Il est assez curieux, et je signale de suite le fait en passant, que ce gisement se trouve à peu près dans la même région que ceux de Gellivara et de Kirunavara, tous les trois ayant, au moins en apparence, une origine tout à fait différente et se présentant comme absolument indépendants les uns des autres. C'est une coïncidence trop remarquable pour ne pas avoir une cause naturelle, qu'il est peut-être permis de chercher

---

(*) Sur Routivara, voir : 1893. Walfr. Petersson, *Om Routivare järnmalmsfält i Norbottens Län* (*Geol. Fören. Förh.*, n° 148, p. 45 à 54). — 1893. Hj. Sjögren, *En ny jernmalms typ representerad af Routivare malmberg* (*Geol. Fören. Förh.*, n° 148, p. 55 à 63, et n° 150, p. 140 à 143). — Cf. *Z. f. pr. Geol.* (1893, p. 269 ; 1900, p. 233 et 235 ; 1901, p. 13).

Dans le même ordre d'idées, nous trouverons plus loin *Välimäki* en Finlande, au Nord-Est du lac Ladoga, où la magnétite est de même dans un gabbro-diorite.

(**) Le voyage de Gellivara à Routivara demande actuellement une huitaine de jours de marche ou de navigation en pirogue sur les fleuves, en passant par Harsprånget, Stora Sjöfallet et Kvikkjokk, qui est à 15 kilomètres S. S. E. de Routivara. De Kvikkjokk, on peut descendre, en trois jours, à la côte norvégienne, par le glacier de Salajekna, jusqu'à Furulund, port où se trouvent les bureaux de la compagnie des mines de Sulitälma et qui est desservi par des bateaux à vapeur suivant la côte.

à deviner. Aussi nous reviendrons un peu plus loin sur cette question.

D'après Walfr. Petersson, dont je reproduis ici la carte (Pl. III, *fig.* 1 et 2), la roche fondamentale de la région est un gabbro ou gabbro-diorite, fortement métamorphisé, surtout composé de labrador saussuritisé, dont le poids spécifique est 2,73 et dont on trouvera l'analyse ci-dessous (I). En se rapprochant du gisement, on trouve, en filons très localisés, une variété amphibolique ou micacée (II), plus dense (poids spécifique, 2,87) ; et l'on arrive enfin, au cœur du gabbro, à l'amas de minerai proprement dit (III), à 47,61 p. 100 de fer.

	I	II	III
SiO^2........	54,06	47,37	4,08
TiO^2.......	0,39	0,25	14,25
Al^2O^3.......	29,01	23,22	6,40
Cr^2O^3......	»	0,39	0,20
Fe^2O^3......	»	»	33,43
FeO........	0,64	6,42	34,58
MnO.......	»	0,28	0,45
MgO........	0,41	8,67	3,89
CaO........	9,93	6,86	0,65
K^2O........	0,57	0,63	0,15
Na^2O.......	4,68	3,25	0,29
Ph^2O^5......	»	»	0,016
H^2O........	0,66	3,25	1,32

Le minerai III, appelé par Petersson une titano-magnétite-spinellite (*), est exclusivement du minerai noir (svartmalm) ; il comprend, comme minéraux constituants, par ordre d'importance décroissante : de la titano-magnétite (poids spécifique, 4,96 ; environ 9 p. 100 de TiO^2) ; de l'ilménite (poids spécifique, 4,55 ; environ 45 p. 100 de TiO^2) ; du spinelle vert (pléonaste ou hercynite) ; de l'olivine ; un minéral de la famille du pyroxène (probablement de

(*) Ce minerai se distingue par là légèrement du type Taberg, qualifié de magnétite-olivinite, et du type Ekersund, ou ilménite-norite.

l'hypersthène) ; accessoirement, de la pyrrhotine, assez abondante par points. Les analyses montrent que le phosphore fait à peu près complètement défaut : ce qui suffirait à différencier ce gisement de ceux que nous étudierons plus loin à Kirunavara.

Le spinelle, remarquablement fréquent, appartient à deux temps de consolidation distincts : de grands individus zonés, de 1 à 5 millimètres, ont cristallisé avant la magnétite et l'ilménite ; d'autres, 50 à 100 fois plus petits et non zonés, à peu près en même temps que ces minerais. La cristallisation de l'olivine est ordinairement antérieure à celle de la magnétite.

Cette présence du spinelle, qui correspond à une teneur en alumine encore assez sensible, est un rapprochement avec les gisements de Taberg et Ransberg, en Småland.

La ségrégation s'est faite par diminution de la silice, de la chaux et des alcalis, concentration du titane, du chrome, du fer, du manganèse et de la magnésie.

Quand on examine un peu plus en détail l'allure du gisement, on est aussitôt frappé par le contraste que présente son irrégularité avec les lentilles ou amas interstratifiés des autres gisements scandinaves. C'est un ensemble assez confus de veines, qui sont très loin d'avoir toutes la direction générale de la masse et présentent des plongements trop variés pour pouvoir être figurés sur une carte. D'après Petersson, on semble avoir affaire à une puissante brèche avec d'énormes morceaux de minerai entourés de roche stérile. Les contacts du minerai et de la roche encaissante se font brusquement, sans l'intermédiaire de ces gangues à minéraux ferrugineux (hypersthène, pyroxène, grenat, amphibole, etc.), que l'on retrouve si souvent en Suède et que l'on appelle le skarn.

Välimäki, Arkhangelsk (*). — Le même type se retrouve encore, d'après Blankett, sur l'autre rive de la Baltique, en Finlande, à *Välimäki*, au N.E. du lac Ladoga. Il existe là, au milieu de micaschistes à andalousite et à staurolithe, de phyllites, quartzites, amphibolites, etc., un massif de gabbro dioritique recoupant les schistes, dont il englobe des fragments. Cette sorte de gabbro est formée de plagioclase, hornblende, augite, avec épidote, apatite, magnétite, etc. On y remarque des ségrégations de magnétite titanifère à 2,90 d'acide titanique. Ces mines sans importance ont produit, en 1896, 7.464 tonnes de minerai.

Plus à l'Est, près d'*Arkhangelsk*, on a signalé récemment une lentille de fer titané dans une roche qualifiée de mélaphyre.

Résumé. — En résumé, l'on voit qu'il s'agit, dans tous ces exemples, très analogues les uns aux autres, de magmas cristallisés en profondeur, d'une opération métallurgique exécutée en vase clos sur un bain métallique brassé par de la vapeur d'eau, peut-être en présence de certains principes volatils jouant le rôle de minéralisateurs, tels que les carbures d'hydrogène, l'hydrogène sulfuré ou l'acide chlorhydrique. Partout, cette opération a eu pour résultat de donner du fer exempt de phosphore, le phosphore ayant passé dans la scorie ; Alnö seul, gisement analogue à certains égards, mais différent, comme nous allons le voir, par la nature de la roche encaissante, fait exception, à cet égard, en présentant une concentration assez notable de phosphore. La teneur en manganèse est également assez faible dans ces minerais titanés (0,25 à 0,50 de MnO).

(*) BLANKETT, *Välimäki malmfält* (*Geol. Fören. Förh.*, 1896, p. 201, avec carte). Cf. TIGERSTED, *Om Finlands malmförekomster* (*Congrès géogr. en Finlande*, 1895), et publications sur Pitkäranda, à la Bibliographie finale).

B. — Gisements dans une syénite néphélinique type d'Alnö.

Le cas du gisement d'Alnö, que je mentionne pour mémoire, se distingue des exemples précédents par la nature de la roche encaissante, qui est ici une syénite néphélinique. Ce groupe de roches, si rarement représenté dans les régions autres que celles à magmas profonds, est, on le sait, le siège des minerais rares de Norvège (gadolinite, cérite, composés d'yttrium, thorium, etc.); on y trouve, en divers pays, des cristallisations de graphite (mont Batougol, etc.), ou des minéraux titanés (*). Il est à remarquer que la forte teneur en soude, par laquelle elles sont en partie caractérisées, se retrouvera tout à l'heure dans les porphyres qui encaissent le gîte de Kirunavara. Le gisement pétrographique d'Alnö, sans grande extension et sans importance pratique, est seulement intéressant, comme marquant la place d'un type spécial dans notre série (**).

CHAPITRE II.

GISEMENTS DE KIRUNAVARA-LUOSSAVARA (***).

A. — Généralités. — Description géologique.

Les gisements de Kirunavara et Luossavara, situés dans la province de Norrbotten (ou Laponie suédoise), au Nord

(*) Voir *Notes sur la théorie des gîtes minéraux* (*Ann. des Mines*, janv. 1903, p. 48).

(**) Voir la collection de l'Ecole des Mines, rapportée par moi de ce gisement. La bibliographie comprend : Högbom (A.-G.), *Über das Nephelinsyenitgebiet auf der Insel Alnö* (en allemand) (*Geol. Fören. Förh.*, 1894, p. 18; 1895, p. 100 à 161 et 214 à 257, avec carte géologique au 1 : 40.000, indiquant la place des minerais de fer). — Lundbohm, *Prakliskt geol. Undersökn. inom Vesternorrlands Län* (*Sver. geol. Undersökning*, n° 177, p. 26, avec bibliographie).

(***) On écrit aussi Kirunavaara, ou, rarement, Kurunuvaara. Je réunis ici les principales publications relatives aux diverses mines de Laponie, Kirunavara, Gellivara, etc. :

1877. *Berättelse om Malmfyndigheter inom Gellivare och Jukkasjärvi*

du cercle polaire (Pl. III, *fig.* 3), ont été explorés, pour la première fois, en 1875, par une mission officielle, à la tête de laquelle étaient MM. O. Gumaelius et C.-A. Dellwik. En 1889, la carte en a été dressée par M. Wibel. L'étude complète en a été faite, depuis 1897, par M. Hjalmar Lundbohm, du Service géologique de Suède, aujourd'hui directeur de la Société d'exploitation, qui a bien voulu m'en signaler et montrer sur le terrain les points les plus intéressants. C'est aux travaux de ce dernier que sont empruntés tous les faits qu'il m'a été impossible d'observer par moi-même : notamment les résultats des

---

Socknar (avec 5 cartes et 1 résumé français), contient les travaux de Hummel, Gumaelius, Trysen et Dellwik.

1884. Albik Ljunggren, *The Swedish iron mountains Luosavaara and Kirunavaara* (petite brochure de 16 pages, à Stockholm).

1884. Brustlein, *Fer de Laponie* (*Ind. Min.: Comptes Rendus*, juillet 1884).

1884. Schwarze (*Stahl und Eisen*, juillet 1884).

1890. Hjalmar Lundbohm, *Apatit forekomster i Gellivare Malmberg* (*Sveriges geol. Unders.*, série C. n° 111) (Rapport à la Commission d'études des gisements d'apatite du Norrbotten, 48 p. et 3 pl.).

1890-1892. Törnebohm, Löfstrand, Fredholm, etc., Mémoires divers sur Kirunavara (*Geol. Föreningens Förhandlingar*).

1890. Otto Torell, *Apatitförekomsterna i Norrbottens Län* (*Sveriges geol. Unders.*, série C, n° 113, 12 p.).

1892. Fredr. Svenonius, *Om Berggrunden i Norrbottens Län* (*Sveriges geol. Unders.*, série C, 126, 44 p., avec carte géologique du Norrbotten).

1892. Hjalmar Lundbohm, *Apatit förekomster i Norrbottens Malmberg* (*Sveriges geol. Unders.*, série C, 127, 38 p.).

1896. Petersson, *Geol. beskrif. ofver Nordmarks grufvors odalfält* (*Sveriges geol. Unders.*, serie C, n° 162).

1896. Fredr. Svenonius, *Topografiska kartor over Norrbottens Turistfelder* (Stockholm).

1897. Johan. H.-L. Vogt, *De store nord-svenske Jernmalmfelter og Ofotbanen* (*Norsk teknisk Tiddskrift*, Kristiania, 27 p.).

1898. Hjalmar Lundbohm, *Kirunavaara och Luossavaara Jernmalmsfält* (*Sver. geol. Und.*, série C, 175, 72 p. et 3 pl.) (traduit en anglais; résumé en allemand dans la *Zeits. f. prakt. Geol.*, 1898, p. 423).

1898. Johan. H.-L Vogt, *Kirunavara Jernmalmfelt og Ofotbanen* (Rapport au Ministère des travaux publics norvégien sur le projet de chemin de fer de Gellivara à Ofoten, 39 p., avec supplément

nombreux sondages au diamant, par lesquels on a reconnu la continuité des amas ferrugineux en profondeur, et les observations au magnétomètre, qui ont été nécessaires, dans un pays presque entièrement recouvert par la moraine glaciaire, pour constater la réelle extension des mêmes amas, seulement visibles dans leurs parties les plus saillantes au-dessus de la plaine (*).

Une carte et des coupes ci-jointes, dues à M. Lundbohm (*Pl.* IV), montrent l'allure générale de ces gisements, qui forment, comme on le voit, une longue zone Nord-Sud au milieu des porphyres, avec une interruption au lac de Luossajärvi, ou, plus exactement, deux zones, consti-

---

sur le marché étranger, notamment en Allemagne, pour le minerai de Kirunavara, 12 p.).

1898. J. Vogt, *Die Erschliessung des Eisenerzgebietes von Kirunavara durch die Ofotbahn in Norbotten (Schweden)*. Résumé de l'article précédent (*Z. f. prakt. Geol.*, 1898, p. 254).

1898. Högbom, *Sur les minerais de fer en relation avec des syénites dans l'est de l'Oural* (en suédois) (*Geol. Fören. Förh.*, XX, 1898).

1898. Lundbohm et Bäckström, *Géologie de Kirunavara* (en suédois) (*Geologiska Förening möte den 3 mars* 1898, t. XX, p. 68 à 74).

1898. Wedding, *Die Eisenerz Vorkommen von Gellivara und Grängesberg in Schweden* (*Preuss. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, XLVI, p. 69 à 78, avec 1 pl.).

1898. Meeting de l'Iron and Steel Institute en Suède (*The Iron monger*, 10 septembre 1898).

1899. H. Bauerman, *The Gellivare Iron ore mines* (Iron and Steel Institute, mai 1899).

1899. Wetze, *Die Gellivara Erze* (*Mitth. d. geogr. Ges. Lubeck*, p. 48 à 61).

1899. *Gîtes de fer de Kirunavara et Luossavara* (*Ann. des Mines*, janvier 1899 (*Bull.*), 3 p.).

1899. Beck, *Über einige mittelschwedische Eisenerzlagerstätten* (*Norberg, Persberg, Dannemora, Grängesberg, Långban*) (*Zeits. f. prakt. Geol.*, 1899, p. 1 à 10).

1900. Svenonius et Petersson, *Malmfyndigheter in Jukkasjärvi malmtrakt* (*Sveriges geol. Unders.*, n° 183).

1900. Beck, *Lehre von den Erzlagerstätten*, 1 vol. (Berlin, 1901. p. 24). Cf., sur Gellivara, *Zeits. f. prakt. Geol.*, 1894, p. 381 et 394 ; 1895, p. 39 et 465 ; 1898, p. 115.

(*) La carte de M. Lundbohm, reproduite Pl. IV, distingue les parties de minerai qui affleurent et celles que l'on a seulement reconnues au magnétomètre. La réduction, que cette planche a dû subir ici, a forcé de supprimer cette distinction.

tuant : l'une, au Sud du lac, les gisements de Kirunavara ; l'autre, au Nord, celui de Luossavara. La *fig.* 3 de la Pl. III en indique la position relative par rapport aux autres gisements dont il sera question plus loin : Gellivara, Svappavara, Mertainen. Contrairement à ce que nous verrons pour tous ces autres gisements, dont l'origine est probablement différente malgré leur rapprochement géographique, Kirunavara est formé, non d'un chapelet de petites lentilles ni d'un système de niveaux interstratifiés, mais d'une énorme masse bien compacte et bien localisée. La longueur totale de cette masse est de $3^{km},5$; sa largeur horizontale (qu'il ne faut pas confondre avec la largeur apparente sur la carte, largeur bien supérieure par suite de l'inclinaison que présente la superficie) reste, presque toujours, au-dessus de 40 mètres et atteint 166 mètres au point nommé Geologen. Le cube reconnu et exploitable sans travaux profonds, au-dessus du lac voisin de Luossajärvi, dont la cote absolue est 501, n'est pas estimé par les ingénieurs suédois à moins de 233 millions de tonnes ; chaque mètre d'approfondissement peut donner de 1.500.000 à 1.900.000 tonnes. En supposant que l'on pût descendre seulement à 300 mètres au-dessous du lac, on arriverait à 600 ou 800 millions de tonnes.

Si, laissant le côté pratique du gisement pour envisager sa seule théorie, on tient compte de la partie, aujourd'hui disparue, qui en a été enlevée par l'érosion, et si on évalue la hauteur primitive du gisement à 1.000 mètres, on arrive à cette conclusion qu'il a [illegible] minimum 1.500 à 2 [illegible] à 65 p. 100 de [illegible] de fer [illegible] à la réa- [illegible] a pu [illegible] ne con- [illegible] leur. C'est.

dans toute hypothèse, la plus grosse boule d'oxyde de fer que l'on connaisse sur le globe (*).

Ainsi que le montre la *fig.* 2, reproduction d'une photographie de M. Lundbohm, cette masse de magnétite occupe toute la crête Nord-Sud de la montagne de Kirunavara, qui oscille entre 20 et 250 mètres au-dessus du lac voisin de Luossajärvi, lui-même à la cote 501 ; elle a un plongement Est très marqué de 50 à 60° sur l'horizon. Son examen confirme ce fait remarquable, dont on pourrait douter sur une description sommaire, que toute cette montagne de magnétite est à peu près complètement exempte de mélanges étrangers, de gangues ou d'intercalations stériles. Il est très possible que le déchet ne dépasse pas en pratique 10 à 15 p. 100.

La mission officielle de 1875, qui a fait la première exploration du gite, a donné aux divers sommets les titres de ses membres ; c'est pourquoi l'on traverse, du Sud au Nord : le *Jägmästaren* (garde-chasse), le *Professoren* (professeur), le *Landshöfdingen* (gouverneur de la province), le *Kapten* (capitaine), le *Pojgen* (jeune garçon), le *Direktoren* (directeur), le *Bergmästaren* (Inspecteur des mines), le *Statsrådet* (conseiller d'État), le *Geologen* (géologue), le *Grufingeniören* (Ingénieur des Mines), le *Vaktmästaren* (huissier).

La grande particularité de ce gite, qui en fait l'originalité et qui contribue non moins à sa valeur industrielle qu'à son intérêt théorique, c'est qu'il est entièrement homogène et encaissé, d'un bout à l'autre, dans des porphyres parfaitement typiques, occupant, au milieu d'eux, une zone si nette et si rectiligne qu'on a pu quelquefois la supposer filonienne.

(*) Comme point de comparaison, le gisement lorrain, qui est la grande source de production du minerai de fer en France, Lorraine allemande et Luxembourg (18 millions de tonnes d'extraction par an en 1900), passe, d'après les dernières recherches, pour renfermer 5 milliards de tonnes de minerai entre 30 et 36 p. 100, soit environ 1.800 millions de tonnes de fer pur, mais dispersées sur 100.000 hectares et non concentrées en un seul amas.

Il se distingue par là totalement des gîtes ordinaires de Suède, dont il sera question plus loin, gîtes interstratifiés dans les terrains cristallophylliens, et il est impossible de lui appliquer, au moins sans une discussion très sérieuse, la théorie d'un dépôt sédimentaire métamorphique, ordinairement adoptée pour ces autres gisements. Par suite de ces conditions spéciales, son origine reste encore très obscure et très discutable ; de nombreuses théories ont été déjà mises en avant pour l'expliquer, sans qu'aucune s'impose par son évidence. Il est, dès lors, nécessaire de regarder les choses d'un peu près et d'entrer dans quelques détails.

Une carte géologique au 1/2.000.000e de la province de Norrbotten a été publiée en 1892, par M. Svenonius (*). Tout récemment, la carte géologique d'Europe au 1/1.250.000e a donné la feuille contenant cette région, en mettant à profit les derniers travaux. Ces documents, qui ont servi à leur tour pour la *fig.* 3 de la Pl. III ci-jointe, montrent la position de Kirunavara sur un amas de porphyre N.S., qui vient s'intercaler dans une grande formation de gneiss et de granite avec roches vertes. Vers l'Est, au delà de Vittängi et Gellivara, le granite tend à dominer ; vers l'Ouest, ces terrains cristallins viennent butter contre les terrains siluriens et algonkiens (précambriens), dont ils sont séparés par une ligne N.E.-S.O. très caractéristique, qui coupe en deux, transversalement, les innombrables lacs de la région, notamment le Torne-Träsk et le Hornafvan (75 kilomètres au Sud de Routivara) (**). Le premier regard jeté sur cette

(*) SVENONIUS, *Om berggrunden i Norrbottens Län* (*Sveriges geologiska Undersökning*, n° 126 ; 1892).

(**) M. Suess a récemment insisté (*Face de la terre*, t. II, p. 81 ; t. III, p. 521) sur le rôle de cette ligne séparative, dite *glint*, le long de laquelle s'est faite, d'après Tornebohm, un chevauchement de terrains, venant de l'ouest (groupe de Seve, ou schistes d'Åre, c'est-à-dire quartzites, phyllades, gneiss, amphibolites, etc.), sur le silurien, que l'on constate, par exemple, à l'Åreskuttan et qui atteint des proportions tout à fait extraordinaires (90 à 100 kil. de large, sur 9 degrés de latitude). Vers l'Ouest, le chevauchement horizontal se rattache à la chaîne plissée.

carte montre aussitôt ce fait, tout d'abord imprévu, que les trois principaux gisements de fer du Norrbotten, Routi-



Fig. 2. — Vue de la montagne de fer de Kirunavara en regardant vers le Nord à partir de Landshöfdingen (d'après M. Lundbohm). — L'affleurement du minerai à Kirunavara et, dans le lointain, à Luossavara, a été encadré de deux traits.

vara, Kirunavara, Gellivara, se trouvent dans trois terrains différents, porphyre, gneiss, silurien, et semblent, par suite, malgré leur rapprochement, malgré toutes leurs

autres analogies, appartenir, comme je l'ai déjà fait remarquer, à trois formations distinctes.

D'après la carte de M. Svenonius, les terrains gneissiques de la région de Kirunavara appartiennent au groupe que les Suédois qualifient de hälleflinta et que nous aurons l'occasion de retrouver dans diverses mines de Suède. Les courses faites dans les environs de Kirunavara m'ont permis de voir que ces terrains contenaient, en tout cas, des niveaux à caractère sédimentaire incontestable, quartzites, schistes et conglomérats.

Dans l'ensemble, on peut ajouter que les directions générales des strates dans cette région, celles des massifs de granite et celles des dykes de porphyre, sont Nord-Sud, comme le gisement de fer lui-même et comme tous les accidents de celui-ci (*). Ce caractère se retrouve plus à l'Est, vers Mertainen et Svappavara. Plus au Sud, les directions s'infléchissent vers le Sud, et, comme toujours, elles prennent une allure très compliquée, très sinueuse autour des granites. C'est là, sans doute, la trace d'une ancienne chaîne précambrienne, avec laquelle, en toute hypothèse, les minerais de fer doivent présenter quelques relations.

Quand on parcourt cette région de Kirunavara de l'Ouest à l'Est, c'est-à-dire transversalement au gisement Nord-Sud, on trouve (autant que le manteau superficiel presque continu de moraines glaciaires et de tourbières marécageuses permet les observations) les roches suivantes, dont les dernières tout au moins sont superposées les unes aux autres dans l'ordre stratigraphique où nous allons les rencontrer, c'est-à-dire du mur au toit :

1° Syénites augitiques, souvent ouralitisées ;

(*) Il existe, dans toute la série de Kirunavara (porphyres, minerais, schistes, quartzites), les traces d'une sorte de laminage, ayant donné des fissures parallèles à cette direction Nord-Sud. On n'a cependant rencontré aucune discordance en rapport avec le dynamisme supposé.

2° Porphyres du mur, composés d'orthophyres sodiques augitiques ou plus rarement micacés (kératophyres), parfois fluidaux, parfois aussi sphérolithiques;

3° Minerai de magnétite phosphoreuse;

4° Porphyres acides, du même groupe des orthophyres sodiques ou albitophyres (quartz-kératophyres), pouvant devenir localement pétrosiliceux ou globulaires, en général nettement fluidaux;

5° Conglomérats à fragments de minerai de fer et schistes d'Haukivara.

6° Quartzites avec intercalation de porphyre.

Le tableau ci-dessous donne, d'après M. Lundbohm, les analyses des roches éruptives 1, 2, 3, 4, qui sont, on le remarquera, très voisines les unes des autres et présentent un air de famille incontestable, malgré des différences très apparentes à l'œil nu. Il est curieux, en particulier, de noter leur forte teneur en soude (environ 6 à 7 p. 100) et leur teneur en acide titanique, qui semble décroître progressivement à mesure qu'on remonte la série, de la syénite (1,82) au porphyre du mur (1,50), à la magnétite (1 à Luossavara; 0,32 à 0,95 à Kirunavara), enfin au porphyre du toit (0,51);

ANALYSES DES ROCHES DE KIRUNAVARA (d'après M. Lundbohm)

	Syénite	Porphyre du mur		Porphyre du toit
	1	2	3	4
SiO^2....	59,57	60,97	61,12	71,30
TiO^2....	1,82	1,65	1,35	0,51
Ph^2O^5..	—	0,109	0,015	0,03
Al^2O^3...	15,14	15,39	17,06	13,53
Fe^2O^3...	5,50	3,29	3,20	2,33
FeO....	1,62	1,19	2,96	1,75
MnO....	0,36	0,36	0,23	0,07
MgO....	2,46	3,39	1,17	0,70
CaO....	3,42	5,04	2,91	0,67
Na^2O...	6,13	5,65	7,25	5,77
K^2O....	3,27	2,88	2,04	3,02
H^2O....	0,57	0,60	0,74	0,56
	99,86	100,52	100,04	100,24

Nous allons revenir sur ces divers points avec quelques détails.

L'ensemble de cette région paraît donc comprendre, en résumé, une série précambrienne nettement sédimentaire, dans laquelle sont venues s'intercaler, comme dans la série homologue du lac Supérieur, des coulées de porphyre, suivies par des conglomérats du même porphyre. Le système de ces porphyres présente, dans la région étudiée, un groupe particulièrement riche en soude, qui va, par une modification de structure, des syénites augitiques aux orthophyres sodiques augitiques et, par une accentuation siliceuse, de ceux-ci à des orthophyres analogues à grains de quartz ; le tout est recoupé par des filons de microgranulite. C'est entre deux semblables coulées que s'intercale la principale masse ferrugineuse ; mais ni celle-ci ni les [illegible] constituent un cas unique dans le pays. [illegible] un peu plus loin, en plus petit, la [illegible] avec d'autres gisements [illegible]

[illegible] après l'autre, les divers [illegible] Luossavara, en [illegible] le minerai de [illegible] minerais, trai- [illegible]

duellement vers le Nord pour disparaître tout à fait à 4 ou 5 kilomètres N.N.O. de Luossavara.

L'augite, associée au plagioclase qui entre dans la composition normale de la syénite, comme de l'orthophyre, est souvent ouralitisée. La teneur en soude, révélée par l'analyse, est notable. Enfin, le sphène est toujours abondant : d'où la teneur en titane.

2° Les *porphyres du mur*, qui supportent la masse du gisement, sont des orthophyres sodiques (ou des albitophyres) augitiques, dont la structure, souvent fluidale, indique des coulées et où parfois se développent des sphérolithes.

J'ai étudié au microscope quelques-uns de ces porphyres, recueillis du Nord au Sud sur la longueur du gisement de Kirunavara, et obtenu les résultats suivants (*):

—— Porphyre verdâtre au mur de Geologen (2341,25). — Orthophyre augitique à grain très fin, criblé de petits grains frais d'augite avec des grands cristaux de plagioclase, d'orthose et de chlorite (épigénisant surtout de la hornblende). — Cette roche est représentée par la *fig.* 3.

—— Porphyre noir à feldspaths clairs du même gisement (2341,23). — Orthophyre presque pétrosiliceux, un peu fluidal, avec aiguilles de biotite altérée, grands noyaux feldspathiques, microcline, hornblende, ilménite ou magnétite, enveloppant chlorite, hornblende et sphène.

—— Porphyre orange à noyaux verts au contact de la magnétite à Geologen (2341,21). — Orthophyre sans grands cristaux, mais avec noyaux d'hornblende et de sphène, renfermant de la magnétite ou du fer titané.

Porphyre à noyaux verts de Direktoren (2341,14). — Orthophyre passant au porphyre pétrosiliceux, avec amandes de hornblende, sphène et chlorite ; beaucoup de fer titané.

En ce même point, on observe des noyaux ronds de 2 centimètres, remplis par de la hornblende et du fer titané et des veines d'apatite rose.

(*) Les chiffres donnés entre parenthèses (2341,25) sont ceux qui repèrent les échantillons correspondants dans la collection de géologie appliquée à l'École des Mines.

— Porphyre au mur de Landshöfdingen (234,12). — Orthophyre micacé, criblé de grains de magnétite, même dans les feldspaths,

... ferrugineux de
... diamètres. —
... bordé
... renfermant
... grains noirs de

... abondante. Le
...

... analyse chi-

mique conduisent à envisager le porphyre du mur (c'est-à-dire de l'Ouest) comme un orthophyre sodique sans quartz libre, parfois augitique (avec ouralitisation fréquente), beaucoup plus rarement micacé, renfermant, comme éléments accessoires, de la magnétite, du fer titané, du sphène et de l'apatite. C'est bien ce que M. Bäckström a exprimé en appelant ces roches des kératophyres, ou porphyres syénitiques sodiques : le nom de kératophyre ayant été proposé par Gümbel pour des roches à orthose et plagioclase, à masse fondamentale compacte, cornée, finement grenue, contenant des microlithes de feldspath raccourcis à section rectangulaire, des grains de fer magnétique, des paillettes isolées de mica brun et des débris d'hornblende décomposée.

Ces porphyres du mur présentent souvent des fissures plus ou moins larges, arrivant à occuper un volume de plusieurs décimètres cubes, où a cristallisé un mélange plus ou moins complexe de sphène, de magnétite, d'hornblende et d'apatite, comparable aux filons que l'on a exploités pour apatite en divers points de la Scandinavie, notamment près d'Oddegaarden. Il existe également, dans cette roche, des cavités de même taille et réparties comme des amandes, qui contiennent les mêmes minéraux. L'observation d'une semblable amande montre, d'après M. Bäckström, que tous ces minéraux sont postérieurs à ceux de la roche encaissante et que, parmi les minéraux de l'amande, la hornblende et l'apatite étaient antérieures à la magnétite, elle-même antérieure au sphène. Des veinules intermédiaires montrent le passage de ces amandes aux filons.

Le sphène se montre également très fréquemment dans les grains de plagioclase du porphyre, dans des conditions qui peuvent le faire considérer comme secondaire et formé aux dépens de la chaux de ces plagioclases.

On trouve donc ici, comme résultant d'une dernière formation, un minéral, la magnétite, qui, dans les roches éruptives ordinaires, cristallise le premier, et ce

minéral se montre dans des conditions qui rappellent les remplissages de crevasses ou de bulles après quelque pseudomorphose. On a pu, dès lors, se demander si l'on n'avait pas là un indice d'un phénomène à caractère volcanique, postérieur au porphyre du mur, antérieur au porphyre du toit, qui, ainsi que d'autres raisons nous conduiront également à le supposer, aurait déterminé la venue ferrugineuse entre les deux coulées de porphyre.

Le porphyre du mur (antérieur, en toute hypothèse, au minerai) est souvent de teinte rougeâtre et parfois un peu schisteux près de la magnétite (Geologen). Mais ses aspects sont très variables, et ailleurs, comme on vient de le voir, il est gris brun (Landshöfdingen), noir ou verdâtre (Geologen), etc.

On peut remarquer également que, dans le porphyre du mur, s'intercalent parfois, au voisinage immédiat du gisement, des lits plus ou moins épais de minerai : c'est même presque le seul cas où il y ait, dans ce gisement, mélange de roche stérile avec la magnétite.

Un des points où l'on peut le mieux observer ce fait est le sommet de Gylfe à Luossavara, où les conditions de gisement sont particulièrement intéressantes. On trouve là, en partant du minerai, vers le mur, environ 40 mètres d'un porphyre gris verdâtre à assez gros grain (2341,34), qui paraît être un orthophyre pétrosiliceux avec grands cristaux d'orthose et de plagioclase, nombreuses traînées de magnétite et inclusions de sphène et de zircon. Celui-ci passe à un porphyre analogue à grain plus fin, dans lequel il existe, à peu près parallèlement à la direction du gite, des veines de magnétite et de hornblende, parfois avec fer titané, qui n'ont quelquefois que 1 ou 2 centimètres de large, mais ailleurs atteignent 1 mètre. Semblable phénomène ne peut guère s'expliquer que par une ségrégation contemporaine de la coulée porphyrique antérieure à la grande masse de magnétite, ou par des craquelures filo-

niennes ayant donné lieu à des intrusions de magnétite.

Il est à noter encore que, bien que le porphyre du mur ne contienne pas de quartz libre, il existe, à ce mur (par exemple à ce sommet de Luossavara), quelques lentilles de quartz, peut-être d'origine secondaire, dont certaines contiennent de l'oligiste en grands cristaux.

Nous aurons bientôt à insister sur ces faits.

3° A ce porphyre du mur succède, brusquement et sans transition, le *minerai de fer*, qui repose sur le porphyre par un plan, incliné, ainsi que je l'ai dit, de 60 à 70° sur l'horizon.

Ce minerai, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des autres gisements scandinaves, où l'hématite domine et où la magnétite paraît souvent résulter de sa réduction, est presque exclusivement composé de magnétite: l'hématite, quand elle lui est associée, paraissant en grande partie l'effet d'une altération secondaire.

Cette masse de magnétite, sur la composition de laquelle je reviendrai, présente, dans toute son étendue, mais tout particulièrement au mur, des apparences de schistosité et de fissilité, qui contribuent fortement à sa facilité d'exploitation.

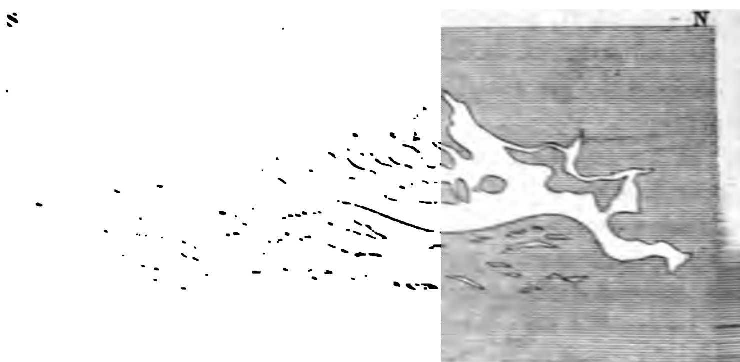
Cette fissilité peut être due à des actions mécaniques postérieures à la consolidation, dont le gisement porte en divers endroits la trace, et qui ont pu également agir sur le porphyre du mur, parfois lui-même légèrement schisteux et comme dynamo-métamorphisé au contact (Geologen).

La fissilité est presque toujours parallèle à la direction du gite (centre de Bergmästaren, etc.), bien que j'aie noté un point, au Nord de Geologen, où des craquelures sont, par exception, transversales à la longueur du gisement. Par endroits, le minerai apparait avec un aspect tout à fait stratifié.

Nous verrons tout à l'heure que le phosphore entre comme un élément à peu près constant dans la constitu-

tion du minerai, avec des teneurs atteignant en moyenne 1 p. 100 et dépassant souvent 2 à 3 p. 100, si bien que, parmi les grands gisements de fer connus jusqu'ici, celui-ci paraît être le plus phosphoreux de tous. Ce phosphore est à l'état d'apatite, comme dans les autres gisements suédois de minerais de fer cristallins ; mais, au lieu de se montrer en gros cristaux nets et bien isolés (comme à Gellivara, par exemple), il offre souvent une telle dissémination dans la pâte, il y est si finement, si intimement réparti que certains minerais à teneur très élevée en phosphore semblent, au premier examen, des magnétites à structure tout à fait massive ou à grain d'acier.

Parfois cependant l'apatite s'isole en fines interstratifications, se groupe en veinules de 1 ou 2 centimètres ou en noyaux, dont l'allure, représentée par diverses figures ci-jointes, accuse toujours, à la fois, une certaine disposition [illegible] et comme stratifiée suivant la direction dominante du gîte N S et, d'autre part, des veines transversales



tère, qui apparaît encore plus nettement sur les *fig.* 5, 6, 7, représentant, à des échelles croissantes, une même région



Fig. 5. — Filons d'apatite à Bergmästaren (d'après M. Lundbohm).

de Bergmästaren. Le dernier croquis (*fig.* 7), relevé près du signal de Bergmästaren, montre un point curieux, où une grosse veine d'apatite rose saccharoïde, très irrégulière, mais atteignant $1^{m},50$ par endroits, est, contrairement au cas ordinaire, très nettement transversale à la

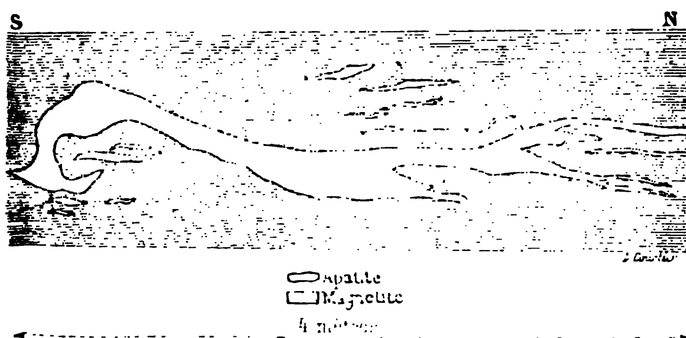


Fig. 6. — Détail en un point de la *fig.* 5 (d'après M. Lundbohm).

direction du gîte, c'est-à-dire Est-Ouest. Elle semble néanmoins s'être infiltrée, comme une substance fluide, dans ce qui équivaut aux schistosités du gîte : d'où l'existence, au milieu d'elle, d'une série d'aiguilles de magnétite, d'intercalations ferrugineuses à contours anguleux, qui ont non

seulement la direction générale Nord-Sud de l'amas, mais aussi son plongement vers l'Est. Mis en évidence par le contraste de la magnétite noire, comme charbonneuse, sur l'apatite rose, et par la saillie que l'altération superficielle inégale a donnée aux parties de magnétite, ce phénomène

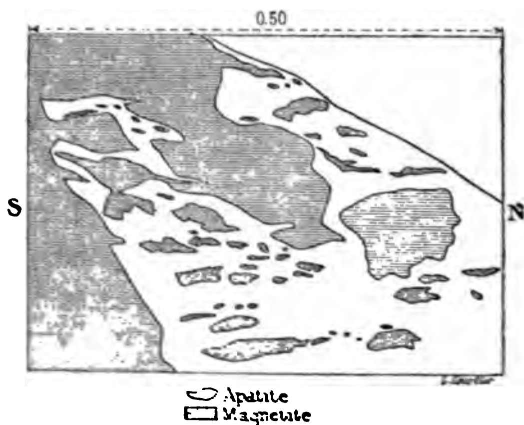


FIG. 7. — Plan d'une veine d'apatite englobant de la magnétite, à Bergmästaren (Kirunavara).

fait ressembler le filon, en cet endroit, à une véritable brèche. Cette question de l'apatite, que les géologues suédois ont particulièrement étudiée, est, d'ailleurs, des plus intéressantes, et nous aurons à y revenir spécialement dans le chapitre IV, à la fin de ce [illegible].

Dans [illegible] filons, on observe, presque toujours, au mur du gisement ferrugineux, c'est-à-dire à l'Ouest, [illegible] où la magnétite est [illegible] et, en même temps, [illegible]. Vers ce mur, il existe, à [illegible] prolongée de 5 à [illegible] contenant des [illegible] c'est un indice [illegible] porphyre, bien

que le porphyre, au voisinage du gîte, renferme, par contre, dit-on, des fragments de magnétite, peut-être par des alternances de premières formations ferrugineuses avec les dernières coulées porphyriques.

Un autre point, qu'on a généralement passé sous silence et qui n'est pourtant pas sans intérêt pour la constitution du gîte, est la présence très probable d'une certaine quantité de pyrite en profondeur. Le minerai est pratiquement très pur en soufre (moins de 0,05 à 0,08) et c'est ce qui a surtout frappé dans son examen; mais il n'en offre pas moins, par endroits (Professoren), un aspect bulleux avec d'innombrables petits trous cubiques, où existait évidemment, dans bien des cas, de la pyrite disparue par dissolution. Il ne faut pas oublier que nous sommes là en présence d'une saillie topographique, sur laquelle les actions d'altération superficielle ont pu, depuis de longues périodes géologiques, s'exercer jusqu'à de grandes profondeurs; cela se traduit également par la formation d'un peu d'hématite secondaire. Il est donc très probable que le minerai originel renfermait une association de magnétite avec un peu de pyrite de fer : association qui n'a rien que de très normal et que l'on retrouve fréquemment beaucoup plus caractérisée (Traversella, etc.), parfois même avec pyrite cuivreuse.

4° Au-dessus du minerai vient un porphyre, qui est de la même famille sodique que les syénites et porphyres pyroxéniques du mur, mais qui s'en distingue toutefois par la proportion beaucoup plus forte de silice; celle-ci atteint 71,30 p. 100 et peut s'isoler en quartz globulaire (mais non en grains de quartz); par contre, l'acide titanique tombe à 0,51. Ce *porphyre du toit*, où les éléments sombres et ferrugineux sont plus rares, m'a paru appartenir à la même famille d'orthophyres ou albitophyres pétrosiliceux (quartz-kératophyres de M. Bäckström) que celui du mur. Plus encore que lui, il affecte, à l'occasion, une structure

fluidale, notamment à Landshöfdingen, dont les échantillons examinés au microscope (2341, 9 et 10) présentent

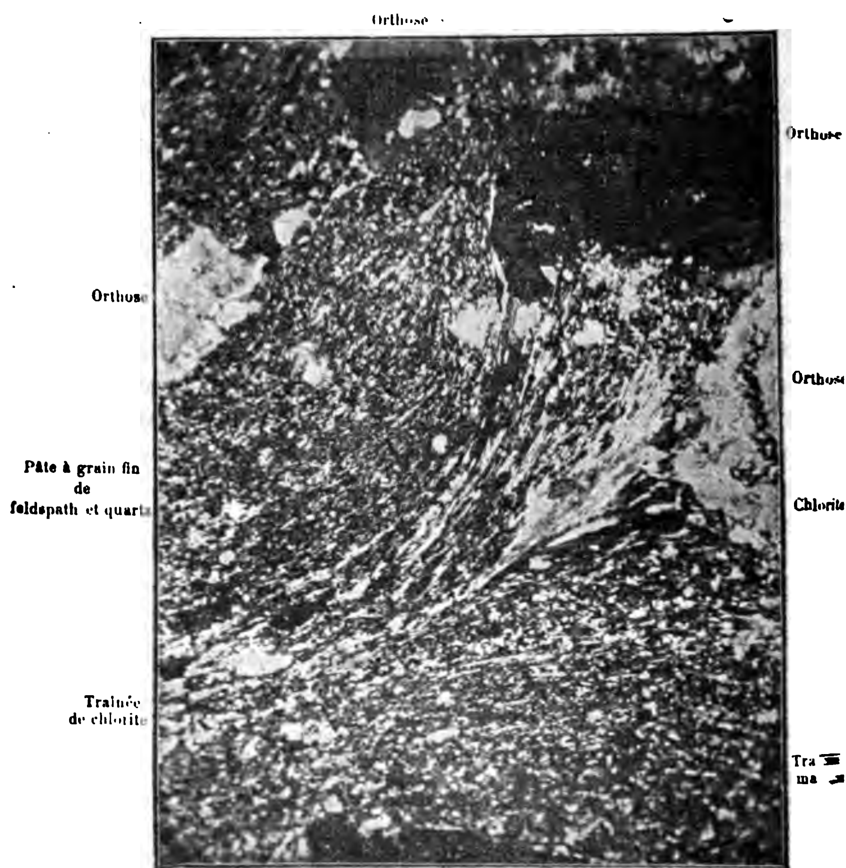


Fig. 8. — Albitophyre pétrosiliceux fluidal, au toit du gisement ferrugineux de Kirunavara Landshöfdingen (2341,9). — Grossissement : 35 diamètres. — On voit en haut trois grands cristaux d'orthose. — Une zone incurvée de la fluidalité contient des aiguilles brillantes de chlorite. — Le magma fluidal renferme des traînées de magnétite.

la disposition représentée par la *fig.* 8. On y voit des traînées à grain très fin de feldspath (orthose ou albite)

avec fin quartz granulitique, englobant de grands cristaux d'orthose, microcline, hornblende chloritisée et des inclusions d'apatite et de zircon. La fluidalité dessine de véritables courants, qui enveloppent des amandes de chlorite à petits cristaux d'apatite, ou des feldspaths recuits. Elle renferme des lignes de grains de magnétite. La chlorite, très abondante, qui polarise dans les teintes vives (bleu foncé, violet, lilas, etc.), paraît appartenir, en grande partie, à la variété pennine. Ce porphyre renferme de gros paquets de hornblende.

Il succède sans transition au minerai, sur lequel il repose, et est, comme lui, nettement schisteux, ou tout au moins déchiqueté, suivant la direction Nord-Sud des gisements. Ce déchiquetage, qui altère la structure primitive du gisement, a fait penser à M. Bäckström qu'au lieu d'une coulée de lave, on pouvait avoir là un tuf recristallisé et laminé : hypothèse à coup sûr beaucoup moins vraisemblable.

Ajoutons qu'au toit de Luossavara le même porphyre renferme souvent des fragments de minerai de fer : ce qui semblerait indiquer qu'il s'est formé après le gisement.

C'est dans cette région de Luossavara que l'on peut faire les observations géologiques les plus nettes. Les conditions de gisement y sont les mêmes en principe qu'à Kirunavara, mais avec quelques variantes. Ainsi le minerai, vers le Sud, est assez sensiblement schisteux ; il est plus chargé de quartz et de matières étrangères qu'à Kirunavara, avec un mélange d'hématite due à une altération superficielle. Le porphyre du mur y prête également à des remarques qui ont été faites plus haut (*). Enfin, quand on s'éloigne, à Luossavara, du minerai vers le toit, on rencontre un champ d'étude particulièrement propice pour ce qui concerne la série sédimentaire superposée au gisement dont il va être maintenant question.

(*) Page 80.

5° Après avoir traversé le porphyre du toit, on arrive, comme nous l'avons dit, à la très curieuse formation des *schistes d'Haukivara*, dont un croquis ci-joint, emprunté à M. Vogt (*fig.* 9), donne la coupe théorique.

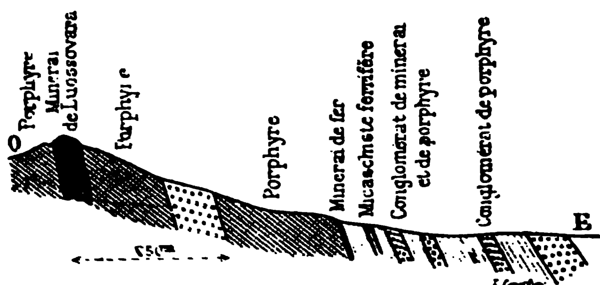


Fig. 9. — Coupe théorique du gisement de Luossavara (d'après M. Vogt).

Au mur de cet étage, j'ai observé d'abord du schiste talqueux avec un peu d'hématite, puis un vrai conglomérat à galets incontestablement roulés d'oligiste et de porphyre et, de nouveau, des schistes à zones ferrugineuses lenticulaires à peu près interstratifiées. Ce lit de conglomérats si remarquable est loin d'être le seul dans cette formation, où les veines ferrugineuses elles-mêmes formées non plus de magnétite, mais d'hématite semblent un produit de remaniement secondaire, assez développé, quoique probablement sans valeur industrielle. C'est ainsi qu'à environ [illegible] mètres plus à l'Est, sur l'éminence dite du Docteur, j'ai revu des lits à galets semblables avec des veines [illegible] schistes. Le croquis de M. Vogt [illegible].

[illegible] en présence [illegible] postérieurement aux porphyres [illegible] partie à leurs [illegible] le voir dans [illegible] postérieurs aux

porphyres, l'âge maximum de cette intrusion se trouve donc nettement daté par la nécessité qu'elle ait été antérieure au dépôt de ces schistes d'Haukivara.

J'ajoute seulement que, dans cet étage schisteux, il existe quelques lentilles de diabase, peut-être interstratifiées.

6° A ces schistes succèdent bientôt des *quartzites*, avec intercalation d'un porphyre semblable au porphyre du toit de Kirunavara, et enfin, en continuant toujours vers l'Est, M. Lundbohm a reconnu au magnétomètre l'existence, sous la moraine, d'une lentille de magnétite (Tuollovaara) (*), qui n'a pas été mise à nu, mais qui, d'après divers indices, paraît, elle aussi, encaissée dans des porphyres.

B. — Théorie du gisement.

En résumé, si l'on rassemble ces divers faits, on voit à quel point ce gisement de Kirunavara-Luossavara présente un caractère exceptionnel et différent de celui que nous retrouverons dans la généralité des gîtes suédois (Gellivara, Grängesberg, etc.). Aussi a-t-on pu mettre en avant, pour l'expliquer, différentes théories, qui vont être exposées tout à l'heure, et dont aucune, il faut bien l'avouer, n'est entièrement satisfaisante. Le fait, qui m'a le plus

(*) L'existence de plusieurs petits gîtes semblables, dont on annonce de temps à autre la découverte, pourrait inspirer des illusions sur la possibilité de rencontrer un jour quelque autre grand amas ignoré, comparable à Kirunavara, dans un pays aussi difficile à explorer, à cause de son manteau de tourbières, de lacs ou de moraine. Il ne faut pas toutefois oublier que, si les grands gisements reconnus jusqu'ici à Kirunavara, Gellivara, Svappavara, etc., forment des montagnes, ce n'est pas le résultat d'un hasard, mais parce qu'ils ont résisté à l'érosion, dans laquelle se sont désagrégées les roches encaissantes. Or les minerais pouvant exister sur des saillies n'ont guère dû passer inaperçus; ceux qu'on a encore des chances de découvrir sont ceux des fonds de vallées, qui, à moins d'être entièrement enfouis en profondeur et soustraits par suite aux actions érosives, doivent être moins considérables dans leurs parties hautes. Ils sont, de toutes façons, plus difficiles à exploiter.

frappé en le visitant et sur lequel je voudrais insister d'abord, est l'apparence, peut-être illusoire, mais pourtant bien marquée, d'une *succession chronologique* dans la série des roches que nous venons d'énumérer.

C'est ainsi qu'à la coulée porphyrique du mur (2), d'un type basique, et très chargée d'intrusions ferrugineuses, succède le minerai de fer (3), qui débute par une série d'intercalations minces dans le porphyre, puis par une magnetite schisteuse et particulièrement phosphoreuse, englobant parfois, à la base, une vraie brèche de porphyre. Cette magnetite a, dans l'ensemble aussi bien que dans le détail, une sorte de schistosité générale, à direction Nord-Sud, avec forte inclinaison vers l'Est de 50 à 60°, qui peut sans doute être due à un dynamo-métamorphisme, mais qui peut également accuser une ancienne stratification.

Au-dessus vient une coulée de porphyre un peu plus acide (4), ayant le même plan général de stratification et terminée, à Luossavara, par des roches englobant des fragments de minerai de fer.

[illegible] l'Haukivara (5) [illegible] les schistes [illegible] peut-être [illegible]

pour admettre l'hypothèse, — indiquée plus loin en terminant, et également assez plausible, — d'un lambeau sédimentaire ferrugineux, tombé dans un pli d'une coulée porphyrique repliée sur elle-même.

Si l'on cherche à approfondir davantage et à s'imaginer comment se serait effectué ce dépôt, cette précipitation d'oxyde de fer en une masse aussi énorme, on peut supposer assez logiquement que le fer a dû avoir une relation d'origine avec les porphyres, dans lesquels il s'intercale et qui en contiennent une proportion notablement moindre après le dépôt du gisement qu'auparavant. Sans parler des cristallisations abondantes d'oligiste dans les bombes volcaniques, nous connaissons aujourd'hui de nombreux exemples de minerais de fer cristallisés dans des roches acides, dans des granites ou à leur voisinage immédiat (*). Les roches éruptives étant considérées, d'une façon générale, comme le laitier silicaté d'un bain métallique plus profond, dans lequel le fer domine sans doute, il est assez naturel de supposer que cette scorification en présence de minéralisateurs à dû amener un départ notable de ce fer, sous la forme, soit de chlorure (**) (tout à fait propice à la cristallisation de l'oligiste), soit de sulfure, soit, plus tard, quand la roche s'est refroidie, de carbonate. On aurait eu alors, entre ces deux coulées porphyriques (que j'imagine, par exemple, sous-marines), des dégagements de chlorure, ou de sulfure de fer, qui, oxydés en présence de l'eau dissociée par la chaleur (ou même, dans le second cas, laissés à l'état sulfuré), se seraient précipités

(*) Il existe, entre autres, à l'École des Mines, une pegmatite à oligiste provenant du Groënland, près du lac de Julian Chaab (mission de Chancourtois, 2521-78).

(**) On remarquera plus loin que les apatites des gisements scandinaves sont, ordinairement, des chloro-phosphates et non des fluo-phosphates. Leur venue a été accompagnée d'une chloruration des roches encaissantes, qui a transformé le plagioclase de celles-ci en wernérite. Le rôle attribué ici au chlorure de sodium n'est donc pas une simple hypothèse.

et, immédiatement recouverts par une nouvelle coulée ignée, auraient subi un métamorphisme, peut-être une réduction, donnant la forme de magnétite (*). Le phénomène est assurément difficile à concevoir ; mais il faut bien admettre que, de toutes façons, la cristallisation d'une boule de 2 milliards de tonnes de magnétite entre deux porphyres a constitué quelque chose d'exceptionnel.

Peut-être même pourrait-on remarquer, à ce propos, que, pendant les époques primitives du globe, représentées par tous les étages précambriens, la croûte terrestre devait être moins épaisse, les communications de la superficie avec les laccolithes profonds plus directes et plus faciles, surtout dans ces régions boréales, où semblent alors s'être particulièrement localisés les plissements du sol avec les concentrations ignées de fer par ségrégation, et où l'on serait également tenté de croire que les dégagements ferrugineux extérieurs sous une forme quelconque ont pu offrir une intensité anormale : on expliquerait ainsi, du même coup, l'abondance toute spéciale des minerais de fer de tous genres dans certains de ces terrains primordiaux. Leur structure cristalline ordinaire, toutes les fois qu'ils n'ont pas subi une altération superficielle, structure qu'il est naturel d'attribuer surtout au métamorphisme, pourrait elle-même être due en partie au rôle originel des chlorures, que nous venons de supposer : chlorures ayant, d'autre part, dû intervenir dans le métamorphisme général des sédiments, en même temps que tous les agents ordinaires de ces transformations.

J'ai déjà eu l'occasion de remarquer que l'abondance extrême du fer dans ces terrains, sur laquelle je reviens

(*) En supposant un dépôt de fer sulfuré, intercalé, sous forme de pyrite, entre deux coulées porphyriques, on pourrait encore admettre qu'il s'est postérieurement transformé, d'abord en hématite par une altération superficielle, puis, par le métamorphisme général, en magnétite.

ici, était un phénomène caractéristique de la zone boréale, qui est précisément aussi la portion du globe affectée par les plissements et par les éruptions d'âge huronien. Plus au sud, le long de la chaîne hercynienne, où les terrains cristallophylliens sont pourtant un élément bien fréquent, les amas ferrugineux y font à peu près défaut (*). Et, sans doute, on peut soutenir avec grande vraisemblance que l'âge de nos terrains cristallophylliens du Plateau Central est totalement différent de celui des terrains d'aspect analogue en Scandinavie et, par exemple, beaucoup plus récent. Mais on peut également chercher, ainsi que nous venons de le faire, une relation d'origine entre les dépôts de fer qui abondent autour du pôle Nord et les manifestations rocheuses éruptives à peu près contemporaines dans les mêmes régions septentrionales : soit que la relation ait été à peu près directe, comme dans l'hypothèse précédente; soit qu'il y ait eu destruction, remaniement et concentration sédimentaire d'éléments ferrugineux, dispersés d'abord dans ces roches éruptives consolidées.

Cette théorie problématique aurait, on le voit, l'avantage de ne pas laisser le gisement de Kirunavara complètement isolé dans son genre et de le rattacher, au contraire, par une série continue, à l'ensemble des autres gîtes scandinaves situés dans le Grundgefield, en établissant la nature de son lien avec eux; le départ du fer à partir des roches éruptives aurait, en quelque sorte, subi trois stades successifs : 1° ségrégation, ou différenciation ignée (Taberg, etc.); 2° départ avec intervention de minéralisateurs et précipitation chimique immédiate (Kiruna-

(*) On retrouve, il est vrai, des amas ferrugineux, dans le cristallophyllien d'Algérie, à Mokta-el-Hadid; mais, d'après un travail récent de M. Termier (*C. R.*, avril 1903), il pourrait se faire que ce cristallophyllien ne fût que de l'éocène métamorphique, et que les amas de fer qu'il contient rentrassent dans le type ordinaire des gisements tertiaires algériens avec recristallisations.

vara) ; 3° sédimentation proprement dite — avec origine possible, mais, en tout cas, lointaine, de départs ferrugineux éruptifs — (Gellivara, Grängesberg, etc.).

Elle serait de nature à établir une certaine analogie entre ces gisements de fer scandinaves et les grands gisements cuprifères, à peu près contemporains, que présente, de l'autre côté de l'Atlantique, dans une région homologue à tous égards, le Lac Supérieur (*) : gisements, pour lesquels de semblables difficultés d'interprétation apparaissent, et dans lesquels on trouve, tantôt avec des caractères sédimentaires, tantôt avec des apparences intrusives, des couches cuprifères intercalées de même au milieu d'une série précambrienne de porphyres (**).

J'ajoute que la localisation des veines d'apatite, peut-être accompagnées d'hornblende, ilménite et sphène, a pu constituer une dernière phase de la formation ferrugineuse, postérieure au dépôt du minerai de fer, déjà phosphoreux par lui-même, dans lequel elles se sont localisées suivant des sortes de filons-couches : filons analogues à ceux qui existent ailleurs (Oddegaarden, etc.), sans y être accompagnés aussi abondamment de fer. Ces veines, dans

(*) On sait quel est le développement des minerais de fer autour du Lac Supérieur, en Minnesota, Michigan, etc. Ces minerais, dont je redirai quelques mots plus loin, sont, au moins sous leur aspect actuel, très différents de ceux de Scandinavie. Ce sont, en effet, des hématites rouges, en moyenne peu phosphoreuses (jaspilites du Vermilion, minerais sableux du Mesabi, etc.), intercalées au milieu de terrains, qui, malgré leur âge, ontarien ou taconique, ont gardé l'aspect sédimentaire beaucoup plus net qu'en Suède. Il parait d'ailleurs bien difficile, sinon impossible, d'établir des rapprochements à distance entre les divers termes, peut-être très nombreux, des séries précambriennes, que l'on voit bien se succéder localement, mais dont les caractères extérieurs, sur lesquels on a établi des rapprochements d'un pays à l'autre, sont dus, non à leur âge, mais à leur degré de métamorphisme.

(**) La relation apparente de ces gisements avec des porphyres fait également songer à certains grands gisements de plomb, localisés au contact de porphyres, tels que Leadville, au Colorado, ou Bulgar Dagh, dans le Taurus Cilicien. J'indiquerai tout à l'heure un rapprochement du même genre avec les pyrites de Rio-Tinto.

toute hypothèse, seraient antérieures au porphyre suivant, dans lequel on ne les retrouve pas.

A côté de cette théorie, combinant la sédimentation avec la pneumatolyse, qui me paraît en somme la plus vraisemblable, on a proposé, ou l'on peut imaginer, diverses autres hypothèses : ségrégations acides, filons éruptifs ou métallifères, sédiments pincés dans une faille, etc., etc... Je vais résumer ici celles qui supportent le mieux la discussion.

1° L'idée d'une ségrégation acide a été développée par M. Högbom (*), qui a rapproché ces gisements de ceux de l'Oural (Blagodat, etc.), en imaginant qu'il y avait eu là un simple départ profond, analogue, pour les roches acides ou neutres, à celui que nous avons étudié plus haut pour les roches basiques de Taberg, Alnö, etc., mais s'en distinguant par une bien moindre teneur en titane. Plus récemment, M. Beck a repris cette opinion dans un ouvrage sur les gîtes métallifères. Il semble, en effet, et je le rappelais à l'instant, que, parfois, pour d'autres gisements, un départ ferrugineux se soit fait dans des roches relativement acides ; on constate quelque chose de ce genre dans les phénomènes volcaniques actuels ; on observe de l'hématite au voisinage des granites (Pyrénées, etc.), et je viens d'indiquer tout à l'heure que l'on pouvait, plus généralement, attribuer un rôle, dans la cristallisation du fer, à un départ chloruré ; mais, précisément, dans le cas de ces roches acides, l'intervention des minéralisateurs, et notamment des minéralisateurs chlorurés, paraît indispensable, c'est-à-dire qu'il doit y avoir eu, suivant le terme consacré, pneumatolyse, phénomène plus ou moins analogue aux venues filoniennes, ainsi que nous l'avons supposé précédemment, et non différenciation proprement dite, liquation en vase clos et en profon-

(*) Högbom, *Sur les minerais de fer de l'Oural en relation avec des roches syénitiques* (en suédois) (*Geol. Fören. Förh.*, XX, 1898).

deur. Aussi la théorie en question a-t-elle été vivement combattue par M. Vogt (*), qui était particulièrement qualifié pour le faire en raison de ses études très approfondies sur les amas de ségrégation et qui la croit également inexacte pour l'Oural, d'après les observations récentes de Morosewicz. Pour nous borner à Kirunavara, elle y semble très difficilement compatible avec la fluidalité des porphyres encaissants, qui accuse des coulées : par conséquent, un mouvement superficiel, ou très voisin de la superficie, et non une cristallisation profonde, de même qu'avec les apparences de succession stratigraphique, tout au moins très spécieuses, sur lesquelles j'ai insisté. Aucune transition entre le minerai et la roche, pareille à celles que nous avons signalées pour les roches basiques, ne se présente ici. Enfin l'aspect du gisement, examiné un peu en détail, ne ressemble en rien à celui d'un simple dyke porphyrique, dans lequel se serait localisée, par liquation, une boule de magnétite.

S'il y a quelque rapport d'origine entre le porphyre et la magnétite, comme pourraient l'indiquer ces inclusions abondantes de magnétite dans le porphyre du mur et l'appauvrissement en fer du porphyre du toit, ce serait beaucoup plutôt, nous l'avons dit, par une émanation participant, dans une certaine mesure, du caractère hydrothermal et affectant une allure bien plus complexe : soit une émanation de chlorure de fer immédiatement précipitée en oxyde ; soit un dépôt de sulfure, ultérieurement peroxydé, puis réduit, comme je l'ai imaginé tout à l'heure.

2° On pourrait encore être tenté d'imaginer, sur un noyau ferrugineux, sur un bain de fonte en fusion, formation d'une véritable croûte de scorie porphyrique animée de déplacements, qu'accuserait sa fluidalité, se différenciant,

(*) *Zeitschrift für praktische Geologie* (1900, p. 242 ; 1901, p. 334, note 17).

se liquatant par zones parallèles à cette surface : les parties les plus acides, c'est-à-dire les plus légères, montant vers cette superficie et englobant cet énorme amas de magnétite, ce débris du magma profond, un peu stratifié dans cette consolidation même (auquel manqueraient pourtant les autres métaux, nickel, etc., que nous supposons volontiers dans les bains de fonte internes). Tout ce fragment de croûte, chaviré, incliné, aurait alors reçu la véritable sédimentation postérieure des conglomérats, schistes et quartzites d'Haukivara.

Cette idée, que je me contente d'exprimer, rentrerait assez dans les théories que l'on développait autrefois sur la formation des terrains cristallophylliens par la première consolidation du globe. Elle me paraît bien difficilement compatible avec le caractère franchement sédimentaire, que l'on reconnait de plus en plus dans ces terrains, lorsqu'on peut faire abstraction de leur métamorphisme ultérieur.

3° Une hypothèse, qui se présente encore à l'esprit, est celle d'un dyke filonien proprement dit, filonien à la façon des roches éruptives et non suivant celle des filons concrétionnés métallifères. On aurait affaire à une roche très spéciale, dont la magnétite et l'apatite seraient les éléments constituants : à un dyke, qui serait venu s'intercaler par intrusion entre les deux coulées de porphyre basculées et redressées. J'ai déjà dit pourquoi cette hypothèse me semblait peu admissible, à cause des fragments de minerai repris par le porphyre du toit, surtout la brèche de magnétite et de porphyre dans les conglomérats d'Haukivara, tous phénomènes semblant bien indiquer que le minerai est antérieur au porphyre du toit.

4° La même objection, avec beaucoup d'autres, s'oppose à l'hypothèse purement filonienne d'un filon oxydé, analogue à ceux de sulfurés métallifères, qui a été soutenue par Törnebohm.

5° Après avoir traversé le porphyre du toit, on arrive, comme nous l'avons dit, à la très curieuse formation des *schistes d'Haukivara*, dont un croquis ci-joint, emprunté à M. Vogt (*fig.* 9), donne la coupe théoriqno.

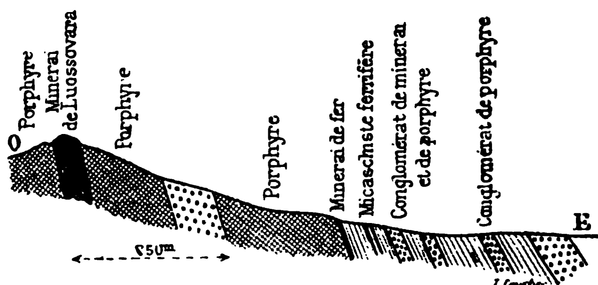


Fig. 9. — Coupe théorique du gisement de Luossavara (d'après M. Vogt).

Au mur de cet étage, j'ai observé d'abord du schiste talqueux avec un peu d'hématite, puis un vrai conglomérat à galets incontestablement roulés d'oligiste et de porphyre et, de nouveau, des schistes à zones ferrugineuses lenticulaires à peu près interstratifiées. Ce lit de conglomérats si remarquable est loin d'être le seul dans cette formation, où les veines ferrugineuses elles-mêmes (formées non plus de magnétite, mais d'hématite) semblent un produit de remaniement secondaire, assez développé, quoique probablement sans valeur industrielle. C'est ainsi qu'à environ 50 mètres plus à l'Est, sur l'éminence dite du Docteur, j'ai revu des lits à galets semblables avec des veines d'hématite au milieu des schistes. Le croquis de M. Vogt figure trois de ces niveaux.

On est donc là, sans contestation possible, en présence d'un véritable terrain sédimentaire, formé postérieurement aux porphyres et aux minerais de fer, en partie à leurs dépens. Pour ceux qui pourraient être tentés de voir dans les amas de magnétite des filons intrusifs postérieurs aux

porphyres, l'âge maximum de cette intrusion se trouve donc nettement daté par la nécessité qu'elle ait été antérieure au dépôt de ces schistes d'Haukivara.

J'ajoute seulement que, dans cet étage schisteux, il existe quelques lentilles de diabase, peut-être interstratifiées.

6° A ces schistes succèdent bientôt des *quartzites*, avec intercalation d'un porphyre semblable au porphyre du toit de Kirunavara, et enfin, en continuant toujours vers l'Est, M. Lundbohm a reconnu au magnétomètre l'existence, sous la moraine, d'une lentille de magnétite (Tuollovaara) (*), qui n'a pas été mise à nu, mais qui, d'après divers indices, paraît, elle aussi, encaissée dans des porphyres.

B. — Théorie du gisement.

En résumé, si l'on rassemble ces divers faits, on voit à quel point ce gisement de Kirunavara-Luossavara présente un caractère exceptionnel et différent de celui que nous retrouverons dans la généralité des gites suédois (Gellivara, Grängesberg, etc.). Aussi a-t-on pu mettre en avant, pour l'expliquer, différentes théories, qui vont être exposées tout à l'heure, et dont aucune, il faut bien l'avouer, n'est entièrement satisfaisante. Le fait, qui m'a le plus

(*) L'existence de plusieurs petits gites semblables, dont on annonce de temps à autre la découverte, pourrait inspirer des illusions sur la possibilité de rencontrer un jour quelque autre grand amas ignoré, comparable à Kirunavara, dans un pays aussi difficile à explorer, à cause de son manteau de tourbières, de lacs ou de moraine. Il ne faut pas toutefois oublier que, si les grands gisements reconnus jusqu'ici à Kirunavara, Gellivara, Svappavara, etc., forment des montagnes, ce n'est pas le résultat d'un hasard, mais parce qu'ils ont résisté à l'érosion, dans laquelle se sont désagrégées les roches encaissantes. Or les minerais pouvant exister sur des saillies n'ont guère dû passer inaperçus ; ceux qu'on a encore des chances de découvrir sont ceux des fonds de vallées, qui, à moins d'être entièrement enfouis en profondeur et soustraits par suite aux actions érosives, doivent être moins considérables dans leurs parties hautes. Ils sont, de toutes façons, plus difficiles à exploiter.

frappé en le visitant et sur lequel je voudrais insister d'abord, est l'apparence, peut-être illusoire, mais pourtant bien marquée, d'une *succession chronologique* dans la série des roches que nous venons d'énumérer.

C'est ainsi qu'à la coulée porphyrique du mur (2), d'un type basique, et très chargée d'intrusions ferrugineuses, succède le minerai de fer (3), qui débute par une série d'intercalations minces dans le porphyre, puis par une magnétite schisteuse et particulièrement phosphoreuse, englobant parfois, à la base, une vraie brèche de porphyre. Cette magnétite a, dans l'ensemble aussi bien que dans le détail, une sorte de schistosité générale, à direction Nord-Sud, avec forte inclinaison vers l'Est de 50 à 60°, qui peut sans doute être due à un dynamo-métamorphisme, mais qui peut également accuser une ancienne stratification.

Au-dessus vient une coulée de porphyre un peu plus acide (4), ayant le même plan général de stratification et débutant, à Luossavara, par des roches englobant des fragments de minerai de fer.

Après quoi, nous trouvons le conglomérat d'Haukivara (5) à fragments de porphyres et de minerai de fer, les schistes du même étage à lits discontinus d'hématite peut-être secondaires et les quartzites (6), qui leur succèdent.

Tout se présente donc, sauf difficultés d'interprétation dans le détail, comme si la formation ferrugineuse s'était intercalée, d'une façon ou d'une autre, par une sédimentation plus ou moins spéciale, entre les épanchements — peut-être sous-marins — de deux coulées porphyriques, elles-mêmes interposées dans une série sédimentaire (précambrienne ?), marquée un peu plus tard par des conglomérats, schistes et quartzites bien nettement stratifiés (*). C'est cette apparence d'une succession chronologique, qui arrête,

(*) C'est l'idée de MM. Lundbohm et Bäckström, pour lesquels les gisements de fer semblent marquer la limite entre deux périodes éruptives.

pour admettre l'hypothèse, — indiquée plus loin en terminant, et également assez plausible, — d'un lambeau sédimentaire ferrugineux, tombé dans un pli d'une coulée porphyrique repliée sur elle-même.

Si l'on cherche à approfondir davantage et à s'imaginer comment se serait effectué ce dépôt, cette précipitation d'oxyde de fer en une masse aussi énorme, on peut supposer assez logiquement que le fer a dû avoir une relation d'origine avec les porphyres, dans lesquels il s'intercale et qui en contiennent une proportion notablement moindre après le dépôt du gisement qu'auparavant. Sans parler des cristallisations abondantes d'oligiste dans les bombes volcaniques, nous connaissons aujourd'hui de nombreux exemples de minerais de fer cristallisés dans des roches acides, dans des granites ou à leur voisinage immédiat (*). Les roches éruptives étant considérées, d'une façon générale, comme le laitier silicaté d'un bain métallique plus profond, dans lequel le fer domine sans doute, il est assez naturel de supposer que cette scorification en présence de minéralisateurs à dû amener un départ notable de ce fer, sous la forme, soit de chlorure (**) (tout à fait propice à la cristallisation de l'oligiste), soit de sulfure, soit, plus tard, quand la roche s'est refroidie, de carbonate. On aurait eu alors, entre ces deux coulées porphyriques (que j'imagine, par exemple, sous-marines), des dégagements de chlorure, ou de sulfure de fer, qui, oxydés en présence de l'eau dissociée par la chaleur (ou même, dans le second cas, laissés à l'état sulfuré), se seraient précipités

(*) Il existe, entre autres, à l'École des Mines, une pegmatite à oligiste provenant du Groënland, près du lac de Julian Chaab (mission de Chancourtois, 2521-78).

(**) On remarquera plus loin que les apatites des gisements scandinaves sont, ordinairement, des chloro-phosphates et non des fluo-phosphates. Leur venue a été accompagnée d'une chloruration des roches encaissantes, qui a transformé le plagioclase de celles-ci en wernérite. Le rôle attribué ici au chlorure de sodium n'est donc pas une simple hypothèse.

et, immédiatement recouverts par une nouvelle coulée ignée, auraient subi un métamorphisme, peut-être une réduction, donnant la forme de magnétite (*). Le phénomène est assurément difficile à concevoir ; mais il faut bien admettre que, de toutes façons, la cristallisation d'une boule de 2 milliards de tonnes de magnétite entre deux porphyres a constitué quelque chose d'exceptionnel.

Peut-être même pourrait-on remarquer, à ce propos, que, pendant les époques primitives du globe, représentées par tous les étages précambriens, la croûte terrestre devait être moins épaisse, les communications de la superficie avec les laccolithes profonds plus directes et plus faciles, surtout dans ces régions boréales, où semblent alors s'être particulièrement localisés les plissements du sol avec les concentrations ignées de fer par ségrégation, et où l'on serait également tenté de croire que les dégagements ferrugineux extérieurs sous une forme quelconque ont pu offrir une intensité anormale : on expliquerait ainsi, du même coup, l'abondance toute spéciale des minerais de fer de tous genres dans certains de ces terrains primordiaux. Leur structure cristalline ordinaire, toutes les fois qu'ils n'ont pas subi une altération superficielle, structure qu'il est naturel d'attribuer surtout au métamorphisme, pourrait elle-même être due en partie au rôle originel des chlorures, que nous venons de supposer : chlorures ayant, d'autre part, dû intervenir dans le métamorphisme général des sédiments, en même temps que tous les agents ordinaires de ces transformations.

J'ai déjà eu l'occasion de remarquer que l'abondance extrême du fer dans ces terrains, sur laquelle je reviens

(*) En supposant un dépôt de fer sulfuré, intercalé, sous forme de pyrite, entre deux coulées porphyriques, on pourrait encore admettre qu'il s'est postérieurement transformé, d'abord en hématite par une altération superficielle, puis, par le métamorphisme général, en magnétite.

ici, était un phénomène caractéristique de la zone boréale, qui est précisément aussi la portion du globe affectée par les plissements et par les éruptions d'âge huronien. Plus au sud, le long de la chaîne hercynienne, où les terrains cristallophylliens sont pourtant un élément bien fréquent, les amas ferrugineux y font à peu près défaut (*). Et, sans doute, on peut soutenir avec grande vraisemblance que l'âge de nos terrains cristallophylliens du Plateau Central est totalement différent de celui des terrains d'aspect analogue en Scandinavie et, par exemple, beaucoup plus récent. Mais on peut également chercher, ainsi que nous venons de le faire, une relation d'origine entre les dépôts de fer qui abondent autour du pôle Nord et les manifestations rocheuses éruptives à peu près contemporaines dans les mêmes régions septentrionales : soit que la relation ait été à peu près directe, comme dans l'hypothèse précédente; soit qu'il y ait eu destruction, remaniement et concentration sédimentaire d'éléments ferrugineux, dispersés d'abord dans ces roches éruptives consolidées.

Cette théorie problématique aurait, on le voit, l'avantage de ne pas laisser le gisement de Kirunavara complètement isolé dans son genre et de le rattacher, au contraire, par une série continue, à l'ensemble des autres gîtes scandinaves situés dans le Grundgefield, en établissant la nature de son lien avec eux; le départ du fer à partir des roches éruptives aurait, en quelque sorte, subi trois stades successifs : 1° ségrégation, ou différenciation ignée (Taberg, etc.); 2° départ avec intervention de minéralisateurs et précipitation chimique immédiate (Kiruna-

(*) On retrouve, il est vrai, des amas ferrugineux, dans le cristallophyllien d'Algérie, à Mokta-el-Hadid; mais, d'après un travail récent de M. Termier (*C. R.*, avril 1903), il pourrait se faire que ce cristallophyllien ne fût que de l'éocène métamorphique, et que les amas de fer qu'il contient rentrassent dans le type ordinaire des gisements tertiaires algériens avec recristallisations.

vara); 3° sédimentation proprement dite — avec origine possible, mais, en tout cas, lointaine, de départs ferrugineux éruptifs — (Gellivara, Grängesberg, etc.).

Elle serait de nature à établir une certaine analogie entre ces gisements de fer scandinaves et les grands gisements cuprifères, à peu près contemporains, que présente, de l'autre côté de l'Atlantique, dans une région homologue à tous égards, le Lac Supérieur (*): gisements, pour lesquels de semblables difficultés d'interprétation apparaissent, et dans lesquels on trouve, tantôt avec des caractères sédimentaires, tantôt avec des apparences intrusives, des couches cuprifères intercalées de même au milieu d'une série précambrienne de porphyres (**).

J'ajoute que la localisation des veines d'apatite, peut-être accompagnées d'hornblende, ilménite et sphène, a pu constituer une dernière phase de la formation ferrugineuse, postérieure au dépôt du minerai de fer, déjà phosphoreux par lui-même, dans lequel elles se sont localisées suivant des sortes de filons-couches : filons analogues à ceux qui existent ailleurs (Oddegaarden, etc.), sans y être accompagnés aussi abondamment de fer. Ces veines, dans

(*) On sait quel est le développement des minerais de fer autour du Lac Supérieur, en Minnesota, Michigan, etc. Ces minerais, dont je redirai quelques mots plus loin, sont, au moins sous leur aspect actuel, très différents de ceux de Scandinavie. Ce sont, en effet, des hématites rouges, en moyenne peu phosphoreuses (jaspilites du Vermilion, minerais sableux du Mesabi, etc.), intercalées au milieu de terrains, qui, malgre leur âge, ontarien ou taconique, ont gardé l'aspect sédimentaire beaucoup plus net qu'en Suède. Il parait d'ailleurs bien difficile, sinon impossible, d'etablir des rapprochements à distance entre les divers termes, peut-être tres nombreux, des séries precambriennes, que l'on voit bien se succeder localement, mais dont les caractères exterieurs, sur lesquels on a etabli des rapprochements d'un pays à l'autre, sont dus, non a leur âge, mais à leur degré de métamorphisme.

(**) La relation apparente de ces gisements avec des porphyres fait egalement songer a certains grands gisements de plomb, localisés au contact de porphyres, tels que Leadville, au Colorado, ou Bulgar Dagh, dans le Taurus Cilicien. J'indiquerai tout à l'heure un rapprochement du même genre ave les pyrites de Rio Tinto.

toute hypothèse, seraient antérieures au porphyre suivant, dans lequel on ne les retrouve pas.

A côté de cette théorie, combinant la sédimentation avec la pneumatolyse, qui me paraît en somme la plus vraisemblable, on a proposé, ou l'on peut imaginer, diverses autres hypothèses : ségrégations acides, filons éruptifs ou métallifères, sédiments pincés dans une faille, etc., etc... Je vais résumer ici celles qui supportent le mieux la discussion.

1° L'idée d'une ségrégation acide a été développée par M. Högbom (*), qui a rapproché ces gisements de ceux de l'Oural (Blagodat, etc.), en imaginant qu'il y avait eu là un simple départ profond, analogue, pour les roches acides ou neutres, à celui que nous avons étudié plus haut pour les roches basiques de Taberg, Alnö, etc., mais s'en distinguant par une bien moindre teneur en titane. Plus récemment, M. Beck a repris cette opinion dans un ouvrage sur les gîtes métallifères. Il semble, en effet, et je le rappelais à l'instant, que, parfois, pour d'autres gisements, un départ ferrugineux se soit fait dans des roches relativement acides ; on constate quelque chose de ce genre dans les phénomènes volcaniques actuels ; on observe de l'hématite au voisinage des granites (Pyrénées, etc.), et je viens d'indiquer tout à l'heure que l'on pouvait, plus généralement, attribuer un rôle, dans la cristallisation du fer, à un départ chloruré ; mais, précisément, dans le cas de ces roches acides, l'intervention des minéralisateurs, et notamment des minéralisateurs chlorurés, paraît indispensable, c'est-à-dire qu'il doit y avoir eu, suivant le terme consacré, pneumatolyse, phénomène plus ou moins analogue aux venues filoniennes, ainsi que nous l'avons supposé précédemment, et non différenciation proprement dite, liquation en vase clos et en profon-

(*) Högbom, *Sur les minerais de fer de l'Oural en relation avec des roches syénitiques* (en suédois) (*Geol. Fören. Förh.*, XX, 1898).

deur. Aussi la théorie en question a-t-elle été vivement combattue par M. Vogt (*), qui était particulièrement qualifié pour le faire en raison de ses études très approfondies sur les amas de ségrégation et qui la croit également inexacte pour l'Oural, d'après les observations récentes de Morosewicz. Pour nous borner à Kirunavara, elle y semble très difficilement compatible avec la fluidalité des porphyres encaissants, qui accuse des coulées : par conséquent, un mouvement superficiel, ou très voisin de la superficie, et non une cristallisation profonde, de même qu'avec les apparences de succession stratigraphique, tout au moins très spécieuses, sur lesquelles j'ai insisté. Aucune transition entre le minerai et la roche, pareille à celles que nous avons signalées pour les roches basiques, ne se présente ici. Enfin l'aspect du gisement, examiné un peu en détail, ne ressemble en rien à celui d'un simple dyke porphyrique, dans lequel se serait localisée, par liquation, une boule de magnétite.

S'il y a quelque rapport d'origine entre le porphyre et la magnétite, comme pourraient l'indiquer ces inclusions abondantes de magnétite dans le porphyre du mur et l'appauvrissement en fer du porphyre du toit, ce serait beaucoup plutôt, nous l'avons dit, par une émanation participant, dans une certaine mesure, du caractère hydrothermal et affectant une allure bien plus complexe : soit une émanation de chlorure de fer immédiatement précipitée en oxyde ; soit un dépôt de sulfure, ultérieurement peroxydé, puis réduit, comme je l'ai imaginé tout à l'heure.

2° On pourrait encore être tenté d'imaginer, sur un noyau ferrugineux, sur un bain de fonte en fusion, formation d'une véritable croûte de scorie porphyrique animée de déplacements, qu'accuserait sa fluidalité, se différenciant,

(*) *Zeitschrift für praktische Geologie* (1900, p. 242 ; 1901, p. 334, note 17).

se liquatant par zones parallèles à cette surface : les parties les plus acides, c'est-à-dire les plus légères, montant vers cette superficie et englobant cet énorme amas de magnétite, ce débris du magma profond, un peu stratifié dans cette consolidation même (auquel manqueraient pourtant les autres métaux, nickel, etc., que nous supposons volontiers dans les bains de fonte internes). Tout ce fragment de croûte, chaviré, incliné, aurait alors reçu la véritable sédimentation postérieure des conglomérats, schistes et quartzites d'Haukivara.

Cette idée, que je me contente d'exprimer, rentrerait assez dans les théories que l'on développait autrefois sur la formation des terrains cristallophylliens par la première consolidation du globe. Elle me paraît bien difficilement compatible avec le caractère franchement sédimentaire, que l'on reconnaît de plus en plus dans ces terrains, lorsqu'on peut faire abstraction de leur métamorphisme ultérieur.

3° Une hypothèse, qui se présente encore à l'esprit, est celle d'un dyke filonien proprement dit, filonien à la façon des roches éruptives et non suivant celle des filons concrétionnés métallifères. On aurait affaire à une roche très spéciale, dont la magnétite et l'apatite seraient les éléments constituants : à un dyke, qui serait venu s'intercaler par intrusion entre les deux coulées de porphyre basculées et redressées. J'ai déjà dit pourquoi cette hypothèse me semblait peu admissible, à cause des fragments de minerai repris par le porphyre du toit, surtout la brèche de magnétite et de porphyre dans les conglomérats d'Haukivara, tous phénomènes semblant bien indiquer que le minerai est antérieur au porphyre du toit.

4° La même objection, avec beaucoup d'autres, s'oppose à l'hypothèse purement filonienne d'un filon oxydé, analogue à ceux de sulfurés métallifères, qui a été soutenue par Törnebohm.

On pourrait toutefois, et c'est ce que j'ai indiqué dès le début, supposer que l'amas de Kirunavara est un ancien amas pyriteux, comparable à celui de Rio-Tinto, — lui aussi, je le rappelle, en contact avec des porphyres. — On sait que l'origine de ces amas pyriteux du type Rio-Tinto est regardée : par les uns, comme filonienne ; par les autres, comme sédimentaire. Supposons, sans préjuger son origine, un tel amas soumis à un métamorphisme, d'abord désulfurant et peroxydant, puis réducteur, et la pyrite se transformera en magnétite. Rio-Tinto deviendra d'abord la Tafna, puis Kirunavara. Cette idée d'un métamorphisme, en définitive oxydant, exercé sur des dépôts d'abord sulfurés, est une de celles sur lesquelles nous reviendrons incidemment pour l'ensemble des gîtes ferrugineux suédois.

5° Enfin, je tiens à indiquer en terminant la possibilité (assez plausible en somme) d'un lambeau sédimentaire tombé et pincé entre deux failles dans une coulée porphyrique, par-dessus laquelle il se serait d'abord déposé, et qui aurait été plus tard cassée et repliée. Bien qu'une telle conception étonne au premier abord, on doit se rappeler que, sans sortir de notre Plateau Central français, on peut observer, en divers points, du terrain houiller présentant, en plein porphyre, l'aspect d'un dyke filonien vertical. Le cas de Sincey en Morvan est bien connu ; j'en ai retrouvé un autre semblable, dans de très petites proportions, à Gouzon, dans la Creuse. Si le mode de formation des sédiments houillers pouvait être douteux comme celui des amas de magnétite, on aurait, sans doute, à Sincey comme à Gouzon, imaginé les phénomènes les plus romanesques et les plus bizarres, filons, ségrégations, etc., ainsi que nous sommes réduits à le faire pour Kirunavara. Inversement, la comparaison mènerait à admettre, pour Kirunavara, une théorie sédimentaire assez simple, qui n'est pas sans quelque rapport avec celle proposée plus haut, mais

qui paraît expliquer moins bien les brèches de magnétite dans le porphyre du toit (*).

C. — Description spéciale des gisements de magnétite.

Je reviens maintenant sur la description plus détaillée et plus industrielle des gisements de magnétite proprement dits.

Ainsi que je l'ai dit en commençant, la reconnaissance de ces gisements résulte, non seulement de l'examen superficiel, qui permet d'en voir la plus grande partie sur la crête même des deux collines de Kirunavara et de Luossavara, mais aussi de très nombreux sondages au diamant exécutés sur les flancs de cette masse de magnétite (**) et

(*) On ne doit pas oublier que la différence entre les porphyres du toit et du mur est, en réalité, assez faible et comparable à celles qu'on peut observer en étudiant diverses parties d'une même coulée éruptive. Cette objection pétrographique étant donc écartée, une semblable hypothèse irait assez bien avec les remaniements et chevauchements dont témoigne cette région.

Je rappelle seulement ici que les premiers géologues ayant étudié Kirunavara, Hummel, Gumælius et Fredholm, ont méconnu la véritable nature du porphyre encaissant, qu'ils ont considéré comme un hälleflint sédimentaire, passant à un hälleflint schisteux, recouvert par des quartzites.

Plus tard, en 1879, Törnebohm examina ces hälleflint schisteux, qui sont les derniers niveaux (5 et 6) décrits précédemment, et les reconnut comme des roches clastiques, conglomérats, grauwackes schisteuses et schistes argileux.

(**) Ces sondages au diamant sont exécutés à forfait par une société spéciale, la « Svenska Diamant Bergborrnings Aktiebolaget », qui, depuis 1886, en a pris la direction dans toute la Suède. A Kirunavara, on paye 22 francs par mètre courant de sondage à cette société; mais celle-ci ne fournit que l'engin et deux hommes pour le manœuvrer; tout le reste est à la charge de la mine, en sorte que le sondage coûte réellement de 35 à 50 francs le mètre.

Ces sondages ont 35 millimètres de diamètre, et on en a fait jusqu'à 157 mètres de profondeur.

Dans le porphyre, on avance environ de 1 mètre en dix heures ; de 5 à 6, dans les roches plus tendres. La tige, qui porte douze diamants, tourne

d'explorations au magnétomètre sur son prolongement (*).

Les résultats de ces sondages sont figurés sur les coupes de la Pl. IV. Grâce à eux, on peut se représenter avec beaucoup de vraisemblance l'allure du gîte en profondeur.

La montagne de Kirunavara, sur laquelle se trouvent les affleurements les plus élevés de magnétite, s'élève à la cote 249 au-dessus du lac voisin, qui lui-même est à la côte 501, soit 750 mètres au-dessus de la mer. Elle descend progressivement au nord, vers ce lac, et se relève, de l'autre coté, dans le gisement de Luossavara. Les évaluations

---

à raison de 75 tours par minute. La pièce d'acier peut servir à trois opérations de $1^{m},50$ chacune ; après quoi, on recèpe et on réenchâsse les diamants (Cf. G. NORDENSTRÖM, *l'Industrie minière de la Suède en* 1897, p. 30 ; Stockholm, Jernkontor). Les sondages de Kirunavara (notés sur la carte ci-après, Pl. IV) ont présenté des difficultés particulières en raison de la dureté extrême du porphyre et de leur profondeur, qui a atteint 157 mètres avec un diamètre étroit de 35 millimètres. Ils ont été faits, non verticalement, mais avec des angles variables de 45 à 75° sur l'horizon, de manière à reconnaître, en partant du porphyre, la position exacte du minerai. Une cause d'erreur résultant de leur inclinaison est la courbure que peuvent prendre les tiges en se rapprochant peu à peu de la verticale dans la profondeur. On a imaginé, pour s'en rendre compte, un artifice ingénieux, qui consiste à introduire, dans tous les tubes de sondage, une ampoule de verre contenant de la stéarine liquide et à la descendre rapidement à une profondeur donnée (ce qui demande environ une demi-heure). On laisse la stéarine se solidifier, ce qu'elle fait suivant des surfaces horizontales, et on la remonte. Il suffit alors d'observer l'angle de ces surfaces avec les parois pour connaître approximativement l'inclinaison et, par suite, la courbure du tubage.

(*) Les recherches au magnétomètre, que l'on a parfois le tort de considérer comme un peu théoriques, donnent en Suède des résultats pratiques très importants, et sont très couramment employées dans tous les pays du Nord à manteau de moraine, de tourbières et de marécages, où la surface du sol est si rarement visible et où la plupart des minerais profonds sont au moins partiellement magnétiques. Les instruments couramment employés sont le magnétomètre de Thalen et la balance d'inclinaison de Tiberg, qui coûtent environ 250 francs. G. Nordenström en a donné une description récente (*l'Industrie minière de la Suède en* 1897, p. 20 à 30, et pl. II ; — *Iron and Steel Institute*, août 1898 ; — *Zeitschrift für praktische Geologie*, décembre 1898, p. 427 à 430 ; — Cf. THALEN, *Untersuchung in Eisenerzfeldern durch magnetische Messung ;* Leipzig, 1879).

pratiques ont été faites en ne tenant compte que de la partie exploitable par gradins en tranchées à ciel ouvert et située au-dessus du lac : partie, qui, seule, d'ici longtemps, peut avoir une valeur industrielle dans un pays aussi septentrional et aussi difficile d'accès.

M. Lundbohm a estimé la surface de minerai de Kirunavara, — c'est-à-dire la section horizontale, assez sensiblement oblique sur l'amas — à 376.000 mètres carrés, dont 230.000 à découvert. En y joignant Luossavara (49.000 mètres carrés), on a 425.000 mètres carrés. Le petit tableau ci-joint, emprunté à M. Vogt, permet de comparer ces dimensions avec les autres grands gites suédois ; le poids spécifique du minerai a été estimé à 4,5.

GISEMENT	SURFACE de minerai	QUANTITÉS DE MINERAI par mètre d'approfondissement	TENEUR EN FER
	mètres carrés	tonnes	p. 100
Kirunavara-Luossavara ...	425.000	1.900.000	65
Routivara	300.000	1.300.000	48
Gellivara	200.000	750.000	63
Svappavara	45.000	180.000	60
Grängesberg	40-45.000	150.000	62

Les coupes montrent un rétrécissement assez sensible de la section en profondeur : phénomène que l'on doit toujours prévoir dans ces gites en amas lenticulaires, qui sont appelés à se rétrécir et à se coincer suivant l'inclinaison, comme ils le font en direction. J'ai déjà donné plus haut les résultats du cubage, qui montent, d'après les ingénieurs suédois et norvégiens, pour la partie reconnue par les sondages, à 47.800.000 mètres cubes ou 215 millions de tonnes, c'est-à-dire, jusqu'au lac de Luossajärvi, en supposant l'épaisseur la même, à 58.876.000 mètres cubes, ou 265 millions de tonnes; ou au minimum, avec une épaisseur progressivement réduite, à 233 millions de tonnes.

Le fait très remarquable est que cette masse de magné-

tite est à peu près entièrement compacte et dépourvue de stériles. Étant donné son inclinaison générale vers la vallée et sa situation si avantageuse à flanc de coteau, on a supposé qu'on pourrait l'exploiter sans avoir plus de un dixième de stérile dans le tout-venant.

D'autre part, ce minerai est un mélange presque absolument pur de magnétite et d'apatite, qui, à l'exception d'un peu de titane, ne contient que des traces d'autres substances étrangères (*).

Par contre, à côté de ces avantages, le minerai présente de graves défauts. Tout d'abord, ainsi que nous allons le voir, l'irrégularité de sa teneur en phosphore est extrême et d'autant plus gênante que très souvent elle ne se décèle pas, comme à Gellivara, par l'aspect extérieur et ne semble donc pas pouvoir permettre un triage par qualités : triage, que les exigences commerciales rendraient cependant nécessaire. A l'usage seulement, on peut espérer transformer les résultats des analyses chimiques en certaines indications pratiques, qui permettront de dresser un personnel d'ouvriers à cette séparation (**). La séparation magnétique est également impraticable avec des minerais, où l'apatite est à grain aussi fin et aussi intimement mélangée à l'oxyde de fer.

En outre, la compacité du minerai est un défaut phy-

(*) On trouvera toute une longue série d'analyses dans le mémoire de M. Lundbohm, *The Iron ore fields at Kirunavaara and Luossavara*. Je crois inutile de les reproduire ici et me bornerai à en donner les conclusions.

(**) D'une façon générale, on sait que la teneur minima des fontes Thomas en phosphore ne doit pas descendre au-dessous de 1,70 p. 100, sans quoi les opérations manqueraient de chaleur. Une teneur trop élevée oblige à des additions de chaux excessives et augmente le déchet notablement. La présence du silicium permet de diminuer la proportion de phosphore pour l'affinage, mais augmente la quantité de scorie. En Meurthe-et-Moselle, on apprécie spécialement une teneur de 2 p. 100 d'acide phosphorique dans les minerais à 42 p. 100 de fer, ou 2 de phosphore p. 100 de fer : ce qui, dans la fonte, amène à 1,80 p. 100 de phosphore, ou, si l'on veut faire l'affinage en seconde fusion, permet d'arriver à 2,2.

sique, auquel on songe à remédier par un grillage préalable. Jointe à la teneur en titane dont il va être question, cette compacité rendra le minerai plus difficilement fusible et augmentera donc la dépense de combustible au haut fourneau (*).

Si l'on entre un peu plus dans le détail, on voit, d'après les analyses de M. Lundbohm, que, sur 171 prises d'essais faites en 1896 et 1897, on en a trouvé

7,	ou	6 p. 100 du total	avec 45 à 50 p. 100 de fer		
11		12	—	55 à 60	—
23		21	—	60 à 67	—
26		23	—	67 à 69	—
25		23	—	69 à 70	—
16		14	—	avec plus de 70	—

c'est-à-dire que 58 p. 100 des prises d'essai renfermaient plus de 67 p. 100 de fer. Il ne faut toutefois pas en conclure que la proportion serait la même pour l'ensemble du gisement; car les travaux de recherche, où ont pu être recueillies les prises d'essais, ont été surtout placés sur des minerais riches en fer et pauvres en phosphore, dont on désirait constater l'extension.

Impuretés. — En ce qui concerne les impuretés, la seule,

(*) Dans cet ordre d'idées industriel, que je me contente de mentionner ici incidemment, il y a lieu de signaler : la rigueur du climat, qui arrêtera le travail au minimum un mois par an ; la brièveté des jours pendant toute la période d'hiver et les difficultés de recrutement des ouvriers (environ 2.200 hommes, ou 6 à 7.000 âmes, pour un tonnage prévu de 1.200.000 tonnes). L'exploitation réellement active ne devant d'ailleurs commencer que cette année même (1903), il existe encore beaucoup d'inconnu dans tous ces problèmes pratiques. Les traités passés avec les usines comportent, dit-on : en 1902, une production de 900.000 tonnes ; en 1903, de 1.800.000 ; en 1904, de 1.900.000. Un minimum de production de 1.200.000 tonnes a été garanti à l'État.

Le prix de revient annoncé par la Compagnie dans ses circulaires comporte les éléments suivants : extraction, 1 fr. 40 ; — transport à la mer, 2 fr. 80 ; — chargement à bord, 0 fr. 50 ; — fret jusqu'aux ports allemands, de 5 à 7 fr. 50 ; — soit, dans les conditions de fret défavorables, 12 fr. 20.

qui puisse avoir quelque importance, est l'acide titanique, qui varie de 0,32 à 0,95 p. 100 à Kirunavara et, à Luossavara, de 0,95 à 1,50 p. 100.

Quant au soufre, il ne dépasse pas 0,05 à 0,08 p. 100.

Des traces de cuivre ont été seulement rencontrées en deux points de Vaktmästaren et de Geologen.

La question du phosphore est plus grave. Les minerais sont, en effet, exceptionnellement riches en phosphore. Contrairement à ce qu'auraient fait présumer les premières études sommaires, on ne peut compter que sur un très faible tonnage de minerais purs, convenant au Bessemer acide. Ces minerais se trouvent surtout localisés au Nord du gîte (Vaktmästaren) et, au contraire, au Sud, vers Landshöfdingen et Professoren.

La presque totalité du gisement est formée de minerais à haute teneur en phosphore, qui doivent passer au convertisseur basique. On sait que ce procédé demande des fontes à au moins 1,70 ou 2 p. 100 de phosphore ; les minerais de Kirunavara paraissent, en moyenne, aptes à en fournir.

Sur 108 analyses, on a, en effet, trouvé :

18, ou 16	p. 100 du total tenant	moins de 0,05 p. 100	de phosphore
18, ou 16	—	de 0,05 à 0,1	—
25, ou 23	—	de 0,1 à 0,8	—
15, ou 14	—	de 0,8 à 1,5	—
32, ou 30	—	de 3 à 6 et plus	—

M. Lundbohm a distingué les catégories suivantes :

1° *Magnétite peu phosphoreuse à cassure conchoïdale, ne renfermant pas d'apatite visible, mais présentant souvent des fissures minces avec un peu de talc et de quartz.* — Ce minerai, qui tient de 68 à 70 p. 100 de fer, renferme, en général, à Vaktmästaren, de 0,01 à 0,03 de phosphore ; exceptionnellement, il monte à 0,07.

2° *Magnétite peu phosphoreuse, parfois mêlée d'hématite, avec une surface quelquefois mate et perforée de*

petites cavités. — Dans ces minerais bulleux, les vacuoles en profondeur renferment parfois de la calcite, ou, plus rarement, de la pyrite; mais les sondages ont montré qu'elles peuvent également rester vides quand on s'enfonce. Ces minerais (Landshöfdingen et Professoren) sont encore peu phosphoreux : 0,05 à 0,8 en moyenne.

3° *Magnétite moyennement phosphoreuse à cassure grisâtre et mate, très compacte, ressemblant à de l'acier, sans autre impureté que l'apatite dans ses fissures.* — Ce genre de minerais, qui domine à Bergmästaren, Kapten, au Nord de Landshöfdingen, apparaît, au premier aspect, comme d'une qualité exceptionnelle; mais, en le regardant mieux, on y voit de très fines veinules d'apatite et, en outre, il est souvent si intimement mélangé avec les minerais phosphoreux suivants que le triage en est presque impossible.

4° *Magnétite à haute teneur en phosphore, avec apatite en grains, noyaux, lentilles ou veinules.* — C'est le minerai de beaucoup le plus abondant. Il a des aspects très variables. Tantôt il est gris et finement imprégné d'apatite, tantôt noir avec des réseaux de veines d'apatite à cristaux généralement très fins, dont les *fig.* 4, 5, 6 montrent l'allure. L'apatite arrive à y former (Bergmästaren) des masses compactes, qui atteignent parfois 2 mètres de large.

La teneur en phosphore, toujours très élevée, est extrêmement variable. A Grufingeniören, on a abattu 400 tonnes tenant, en moyenne, 1 p. 100 de phosphore et 67,38 p. 100 de fer; à Bergmästaren, 600 tonnes, séparées par triage en trois qualités, à 0,77 p. 100, à 1,41 p. 100 et à 4 p. 100 de phosphore ; à Direktören, 600 tonnes donnant trois qualités à 2,09, à 2,03 et à 2,92 de phosphore ; etc. A Statsrådet, les analyses montent souvent de 2 à 4 et descendent rarement au-dessous de 1. A Kapten, le minerai non trié contient ordinairement 2 à 3 p. 100 de phosphore, parfois plus; on a pu y trier un minerai à 0,13 p. 100 de phosphore.

5° *Magnétite grise très phosphoreuse, à apatite si finement divisée qu'elle est souvent invisible à l'œil nu.* — Ce minerai, dont la teneur en phosphore est surprenante étant donné son aspect, se trouve surtout au mur du gisement, notamment à Geologen. Il offre souvent une allure schisteuse et stratifiée. Au microscope, on voit apparaître, sur un fond noir de magnétite, un semis irrégulier de cristaux d'apatite blanche ayant au maximum 1/20 de millimètre ; la magnétite elle-même contient encore 2 à 6 p. 100 de phosphore invisible. Dans ces minerais stratifiés, on observe parfois (Landshöfdingen) des zones bien parallèles à la direction, tantôt pures, tantôt phosphoreuses.

On s'est demandé s'il ne se produirait pas, avec la profondeur, une variation en plus ou en moins dans la teneur en phosphore. C'est un résultat intéressant des sondages d'avoir montré, comme on pouvait d'ailleurs le prévoir, que les variations à cet égard sont du même ordre suivant l'inclinaison du gîte que suivant sa direction à la surface.

En résumé, la majorité des minerais de Kirunavara contient de 1 à 2 p. 100 de phosphore et monte souvent à 3 ou 4 p. 100. On estime également que l'on pourrait fournir de grandes quantités de minerais entre 0,1 et 0,8 p. 100 de phosphore, si les consommateurs le désiraient.

Au point de vue de la structure, j'ai déjà dit que ces minerais étaient remarquablement compacts et durs et donnaient, par suite, très peu de menus. Ils sont néanmoins aisés à abattre, parce qu'ils sont naturellement divisés en petits parallélipipèdes, sans doute par l'effet des actions mécaniques qu'ils semblent avoir subi.

(La suite à la prochaine livraison.)

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ALLEMAGNE ET DU LUXEMBOURG EN 1901 ET 1902.

ANNÉE 1901.

	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen
1° *Substances minérales.*	tonnes	francs	fr. c.
Combustibles minéraux. Houille..	108.539.444	1.248.762.420	11,50
Combustibles minéraux. Lignite..	44.479.970	135.644.400	3,05
Minerai asphaltique	90.193	830.250	9,20
Pétrole	44.095	3.628.500	82,28
Graphite	4.435	285.360	64,34
Minerai de fer	12.115.003	76.977.090	6,35
— de zinc	647.496	26.447.460	40,84
— de cuivre	777.339	29.887.770	38,45
— de plomb	153.340	17.393.430	113,43
— d'étain	82	61.500	750,00
— de cobalt, nickel et bismuth	10.479	913.890	87,21
— d'urane et wolfram	43	36.900	858,14
— de manganèse	56.691	864.690	15,25
— d'arsenic	4.035	382.530	94,80
— d'or et d'argent	11.577	1.907.730	164,79
Pyrites de fer	157.433	1.404.660	8,92
Soufre	1.001	103.320	103,22
Sel	1.563.801	24.918.570	15,93
Minerai de fer (Luxembourg)	4.455.179	11.581.080	2,60
2° *Métaux.*			
Fonte	6.963.683	539.664.960	77,49
Fer et acier puddlés	809.837	149.277.720	184,33
Fer et acier fondus	6.358.284	989.858.490	155,68
Zinc	166.283	67.388.010	405,26
Cuivre	31.306	56.960.070	1.819,46
Plomb	123.098	39.646.590	322,07
Litharge	4.101	1.387.440	338,31
Etain	1.464	4.232.430	2.891,00
Antimoine et manganèse	2.525	1.319.790	522,69
Nickel, cobalt et bismuth	2.207	10.653.030	4.826,92
Arsenic	2.549	1.263.210	495,57
Cadmium	13,1	100.870	7.700,00
	kilogr.		
Or	2.755	9.456.240	3.432,39
Argent	403.796	39.998.370	99,05
	tonnes		
Fonte (Luxembourg)	916.404	65.217.060	71,16

ANNÉE 1902 (*).

	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen
1° *Substances minérales.*			
	tonnes	francs	fr. c.
Combustibles minéraux. { Houille...	107.436.334	1.169.744.760	10,89
Combustibles minéraux. { Lignite...	43.000.476	125.924.940	2,93
Minerai asphaltique................	88.374	742.920	8,40
Pétrole	49.725	4.121.730	82,89
Graphite..........................	5.023	214.020	42,61
Minerai de fer....................	12.833.526	66.560.220	5,19
— de zinc....................	702.504	36.667.530	52,19
— de cuivre..................	761.921	25.130.130	32,98
— de plomb...................	167.855	16.526.280	98,45
— d'étain	104	72.570	697,79
— de cobalt, nickel et bismuth.	12.435	924.960	74,38
— d'urane et wolfram........	31	17.220	555,50
— de manganèse...............	49.812	712.170	14.70
— d'arsenic..................	3.980	378.840	95.18
— d'or et d'argent...........	11.624	1.702.320	146.45
Pyrites de fer....................	165.225	1.580.550	9,57
Soufre............................	487	52.890	108.60
Sel...............................	1.583.258	24.962.850	15,77
Minerai de fer (Luxembourg).......	5.130.069	14.295.060	2,79
2° *Métaux.*			
Fonte.............................	7.449.594	501.669.030	67,34
Fer et acier puddlés..............	889.948	145.948.110	164
Fer et acier fondus...............	7.374.034	1.037.990.850	140.76
Zinc..............................	174.927	76.018.920	434,57
Cuivre............................	30.591	42.021.720	1.373,66
Plomb.............................	140.331	38.559.270	274.77
Litharge	4.197	1.270.590	302.74
Etain.............................	1.986	5.714.580	2.877.43
Antimoine et manganèse............	3.542	1.715.850	484.43
Nickel, cobalt et bismuth.........	2.196	10.730.520	4.886.39
Arsenic...........................	2.827	1.279.200	452.49
Cadmium...........................	12.6	78.720	6.247.62
	kilogr.		
Or	2.664	9.140.130	3.433
Argent............................	430.610	37.884.000	87.97
	tonnes		
Fonte (Luxembourg)................	1.080.396	58.840.740	54.47

(*) Renseignements provisoires.

(*Extrait de la* Statistique de l'Empire d'Allemagne. — Année 1902.)

L'ORIGINE ET LES CARACTÈRES

DES

GISEMENTS DE FER SCANDINAVES

TABERG, ROUTIVARA, KIRUNAVARA, SVAPPAVARA, GELLIVARA, GRÄNGESBERG, NORBERG, DANNEMORA, DUNDERLANDSDAL, ETC.

Par M. L. DE LAUNAY, Ingénieur en Chef des Mines,
Professeur à l'École des Mines.

(*Suite et fin*) (*).

CHAPITRE III.

AMAS LENTICULAIRES INTERSTRATIFIÉS DANS LES TERRAINS CRISTALLOPHYLLIENS: SVAPPAVARA, GELLIVARA, GRÄNGESBERG, NORBERG, PERSBERG, DANNEMORA, ETC.

Le type des gisements de fer en amas lenticulaires, composés, suivant les cas, d'oligiste ou de magnétite et interstratifiés dans les terrains cristallophylliens, est le plus ordinaire en Suède; nous allons en examiner successivement les exemples les plus remarquables avec quelques détails et nous terminerons par un chapitre de conclusions théoriques sur leur origine probable ; mais il peut être utile d'en résumer, dès le début, les caractères principaux, en indiquant aussi les problèmes, que soulève l'origine de ces gisements et que leur étude doit nous permettre de résoudre.

D'une façon générale, ces gisements forment, dans certaines régions, autour de certains centres, des zones plus

(*) Voir *suprà*, p. 19 et suiv.

ou moins nombreuses de lentilles, alignées parallèlement à la stratification et disposées à peu près verticalement, suivant le pendage même des couches gneissiques encaissantes. En se bornant à ce premier aperçu sommaire, un premier fait attire aussitôt l'attention, c'est qu'en certaines régions favorables, comme Gellivara, Grängesberg, Norberg, etc., on a, non pas seulement une longue strate ferrifère à un niveau déterminé, mais un grand nombre de niveaux, qu'il est bien difficile d'attribuer tous à la réapparition par plissement de la même couche et qui doivent, au contraire, correspondre à une série de strates sédimentaires, superposées dès l'origine, puis redressées. Le fait est, sinon expliqué, du moins reproduit par les plans et coupes d'autres gîtes incontestablement sédimentaires, comme celui de Meurthe-et-Moselle. Si l'on prend, par exemple, le schéma des couches du Luxembourg, tel qu'il a été établi par Van Werveke (*fig.* 10), si l'on donne quartier à tout l'ensemble, de manière que la section ver-

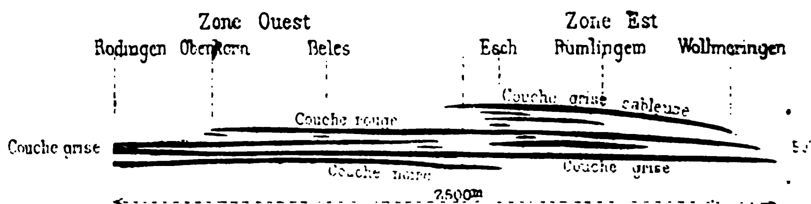


Fig. 10. — Coupe verticale schématique des gisements de minerai de fer du Luxembourg, d'après Van Werveke.

ticale devienne un plan (les couches prenant la disposition verticale des terrains gneissiques), et si l'on imprime au tout quelques plissements et froissements, comme il est manifeste que ces terrains en ont subi en Scandinavie, on a un plan assez analogue à ceux de Gellivara, qui seront donnés bientôt, sauf l'épaisseur des bancs, infiniment moindre, et leur entassement sur une largeur 10 ou 20 fois plus restreinte.

L'épaisseur de ces niveaux ferrifères de Scandinavie, qui atteignent facilement 50 à 100 mètres d'oxyde de fer, est un fait dont nous n'avons pas l'analogue dans les couches ferrugineuses des terrains sédimentaires plus récents et, sans doute, il a pu y avoir, dans certains cas, intervention des plissements mêmes, les plus gros amas s'étant souvent accumulés à des coudes ; nous invoquerons également plus loin l'idée d'une ancienne substitution à des calcaires ; mais il est bien possible aussi qu'il faille faire intervenir une sédimentation opérée dans des conditions un peu spéciales, à une époque où l'abondance des matières ferrugineuses était particulièrement grande dans des magmas moins silicatés et où peut-être, ainsi que je l'indiquais plus haut pour Kirunavara, la croûte étant moins épaisse, les communications avec les noyaux internes se reproduisant plus fréquemment, il s'effectuait, dans le fond des mers, des émissions volcaniques, ou du moins hydrothermales, de chlorures, sulfures et carbonates de fer, contribuant à cette précipitation. On pourrait même supposer ces émissions en rapport plus ou moins direct avec la montée des gabbros et des porphyres et établir ainsi un certain lien entre les sédiments ferrugineux, dus pour la plupart à des dissolutions de sulfates, chlorures ou carbonates, et les intrusions sulfurées plus ou moins profondes, donnant, dans les mêmes régions, tant de gites pyriteux rattachés à ces mêmes gabbros.

Quand on examine la nature de ces minerais suédois, on voit qu'ils sont composés, tantôt d'oligiste, tantôt de magnétite, tantôt des deux formes d'oxydes associées en proportions variables. Le motif de cette oxydation plus ou moins complète est souvent difficile à reconnaître, bien qu'il apparaisse assez nettement dans divers cas particuliers, sur lesquels nous reviendrons dans le résumé de cette étude.

Ainsi, quand le terrain encaissant est calcaire, il est

rare que le minerai ne se soit pas réduit et n'ait pas pris la forme de magnétite, avec ou sans action connexe des éléments ferrugineux sur le terrain encaissant, c'est-à-dire avec ou sans gangue de skarn (grenat, pyroxène, hornblende, épidote). En même temps, il s'est produit souvent une concentration du manganèse et une épuration du phosphore, qui contribuent à faire rechercher ces minerais noirs (svart malm), plus aisément fusibles à cause de leur association avec la chaux.

Au contraire, dans les terrains siliceux, le minerai est généralement à l'état peroxydé, c'est-à-dire sous forme de minerai sec (torrsten malm). Mais cet oligiste a pu se transformer localement en magnétite par des actions diverses, dont l'une apparaît très nettement quand on voit la réduction de l'oligiste en magnétite s'opérer le long de filons quartzeux ou granulitiques à hydrocarbures. J'insisterai tout à l'heure sur ce fait que la plupart des minerais de fer scandinaves ont été recoupés par des veines nombreuses de granulite rose avec quartz : il est très vraisemblable que ces granulites (ou les phénomènes qui les ont elles-mêmes amenées), ont été pour quelque chose dans la réduction en magnétite, ainsi que dans la cristallinité générale des minerais, et peut-être, comme nous le verrons, ont-elles joué un rôle également dans l'apport de certaines substances accessoires, telles que le cuivre, plus rarement le plomb, le zinc, ou même, exceptionnellement, le phosphore.

Enfin, l'on constate très fréquemment un phénomène d'altération superficielle et récente, qui, avec ces minerais compacts difficilement pénétrables, sur ces plateaux où le niveau hydrostatique est peu profond, n'a guère d'importance pratique : c'est l'altération des minerais cristallisés, ayant redonné des hématites rouges ou brunes, qui salissent les minerais superficiels, en même temps que des veinules de calcite ont pu se former et que certaines

impuretés (phosphate, sulfure de fer) ont pu disparaître. Nous aurons à chercher ultérieurement si des altérations de ce genre, mais extrêmement anciennes et, par suite, presque impossibles à démêler sous le métamorphisme qui les masque aujourd'hui, ne seraient pas quelquefois intervenues dans la constitution même des gisements.

Il existe, entre ces divers minerais norvégiens, une coupure, une démarcation de la plus haute importance pratique : c'est celle qu'établit la présence ou l'absence du phosphore. Il y a là une question intéressante, dont nous nous occuperons tout spécialement au chapitre IV. D'une part, la Suède présente quelques-uns des minerais les plus purs en phosphore que l'on connaisse, des minerais à Bessemer typiques, comme ceux de Dannemora; d'autre part, on y trouve, dans des gisements semblables, des minerais remarquablement phosphoreux, comme ceux de Gellivara, Grängesberg, etc., arrivant à tenir 5 ou 6 p. 100 de phosphore, passant même par endroits à de véritables minerais d'apatite. Toutes les transitions entre ces deux types extrêmes se présentent, et l'on n'aperçoit pas bien, au premier abord, la raison pour laquelle certains de ces minerais, qui affectent des conditions géologiques analogues, sont phosphoreux et d'autres purs, pas plus d'ailleurs que nous ne savons pourquoi telles ou telles parties du rivage suessonien en Algérie et Tunisie sont, les unes riches, les autres pauvres en phosphate. La localisation géographique est seule très nette. Les minerais très phosphoreux sont au Nord : Svappavara, Gellivara, Grängesberg ; plus au Sud, on a des minerais intermédiaires : Grängesberg, Norberg ; puis, tout à fait au Sud, des minerais purs. On ne peut qu'invoquer les conditions de dépôt, de sédimentation primitive : peut-être l'existence de niveaux différents, malgré la similitude d'aspect introduite par le métamorphisme ; peut-être des phénomènes d'altération anciens, plus ou moins prononcés.

Enfin, tous ces minerais scandinaves ont subi, postérieurement à leur formation, deux modifications essentielles, dont l'une est due au métamorphisme général qui a produit les terrains cristallophylliens, puis aux dislocations et aux accidents, à la faveur desquels les granulites sont venues exercer leur action, c'est-à-dire à un ensemble de phénomènes probablement huroniens ; dont l'autre, au contraire, qui a été signalée incidemment plus haut, est l'altération superficielle et restreinte, due au métamorphisme local.

Nous aurons à insister sur les mouvements de cassure, les faces de glissement, les failles, les filons transversaux, que présentent la plupart de ces gîtes, et à envisager leur rôle dans le métamorphisme, ainsi que dans la pureté plus ou moins grande des minerais. Il est possible que le grand chevauchement, limité par la face de glint, qui fait, sur des étendues considérables, passer les gneiss de l'Ouest par-dessus le silurien de l'Est, ait couvert primitivement, plus à l'Est, certaines régions, aujourd'hui mises à nu par l'érosion, dans lesquelles seraient comprises quelques-unes des zones à minerais de fer, notamment celle de Kirunavara, qui en est fort voisine ; on pourrait alors imaginer que les sédiments ferrugineux, après avoir été d'abord déposés dans des bassins lacustres ou marins suivant les conditions normales, se seraient trouvés recouverts par des poids énormes de terrains charriés et, au-dessous d'eux, réchauffés, pénétrés par des magmas granulitiques, imprégnés par des fumerolles, recristallisés. On a signalé ce fait curieux qu'en Laponie, les roches occupant les altitudes les plus élevées sont souvent les plus métamorphisées, et que des roches schistifiées, des granites comprimés par une surcharge aujourd'hui disparue, recouvrent, par endroits, des terrains inaltérés.

En tout cas, si ce n'est pas sous la forme d'un chevauchement, c'est tout au moins sous celle d'un plissement énergique que les actions internes se sont exercées sur

ces minerais de fer et ont puissamment contribué à leur allure actuelle.

Nous dirons également quelques mots des cristallisations tout à fait secondaires de calcite, épidote, zéolithes, dues aux altérations superficielles; mais, avant de résumer ces notions nouvelles, il est nécessaire de commencer par des descriptions détaillées des gisements, où ont pu être faites les observations.

SVAPPAVARA (EN NORRBOTTEN).

Le gisement de Svappavara, ou plutôt de Daneliv, est situé dans la même région que celui de Kirunavara, dont il vient d'être question, entre celui-ci et Gellivara, à environ 15 kilomètres au Nord du petit port de Lappiosuanda, sur le fleuve Kalix, et à 4 kilomètres du village de Svappavara, qui est un centre lapon de quelque importance, où, l'hiver, se rassemblent plus de 4.000 rennes. Il a été question de le relier à la ligne de Luossavara à Ofot-fjord, vers Torneaträsk, par un embranchement de 85 kilomètres, dont on a estimé les frais de construction à environ 6 millions de francs. C'est la mine la plus anciennement exploitée de Laponie, et l'on y voit d'importantes tranchées du XVIIe siècle, qui ont eu pour but l'extraction d'un minerai de cuivre assez pauvre (*). Actuellement, le gisement de Svappavara, auquel nuit la dissémination irrégulière du cuivre, est seulement exploré assez incomplètement, mais non exploité. Sa section horizontale, très inférieure à celle des grands gîtes dont il vient d'être question, peut atteindre 30 à 35.000 mètres carrés, c'est-à-dire qu'il représente, sur la hauteur de 70 à

(*) Il est question de la mine de Svappavara dans le voyage en Laponie de l'auteur comique Regnard, à la fin du XVIIe siècle. Celui-ci parle des veines où l'on cherche les minerais de cuivre oxydés, de l'usine de fusion, etc.

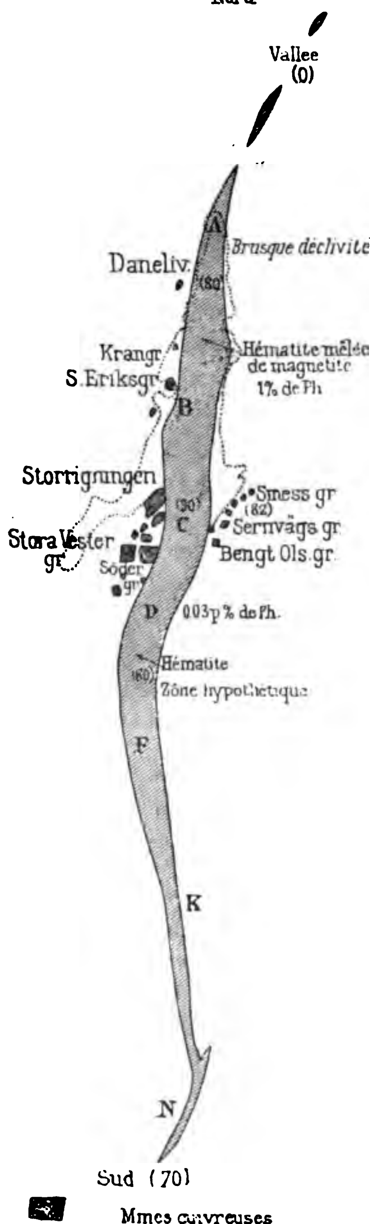


Fig. 11. — Plan schématique du gisement de Svappavara au 1 : 9.20

80 mètres dont on dispose au-dessus de la vallée, un maximum de 5 millions de tonnes.

Ainsi que le montre la carte géologique ci-jointe (Pl. III, *fig.* 3), ce gisement est situé dans la même bande de terrains gneissiques, où se trouvent, plus au Sud, Gellivara et, un peu à l'Ouest, le petit gisement de Mertainen (*). Ces deux gisements de Mertainen et Svappavara forment deux bandes Nord-Sud, parallèles à la direction générale des terrains du pays.

Comme toutes les mines dont il va être question dans ce chapitre, ce gisement apparaît intercalé ou interstratifié dans le cristallophyllien; il forme une longue zone, visible d'une façon à peu près continue sur 1 kilomètre

(*) Un autre petit gisement, dit de Ylipäasnjaska, prolonge peut-être au Sud ce gîte de Mertainen, au delà d'une zone entièrement masquée par les tourbières.

et reconnue au total, au moyen du magnétomètre, sur 1.400 mètres (*fig.* 11). Au Nord, son affleurement constitue la crête de la colline de Daneliv et domine d'environ 90 mètres la vallée voisine, où se trouve l'étang de Svappavara. Dans la partie centrale, où il atteint 60 mètres de large, il est bordé, sur ses deux épontes, par d'anciennes tranchées, occupant environ 400 mètres de long, où l'on a exploité des hématites cuivreuses jusqu'à 90 mètres de profondeur. Vers le Sud, où la colline s'élargit et s'étale en un plateau des deux côtés du gîte, son prolongement devient, par endroits, très hypothétique, et, là où on l'a reconnu par des tranchées, son épaisseur n'est plus que de 5 à 6 mètres.

En moyenne, le plongement du minerai est très redressé, très voisin de la verticale; on observe à peine une légère inclinaison à environ 80° vers l'Est, c'est-à-dire que l'amas a pratiquement l'allure d'un filon. Le terrain est, d'ailleurs, tellement recouvert de bois, de broussailles et de vieilles haldes que les observations sur les roches encaissantes sont actuellement à peu près impossibles.

La nature du minerai varie beaucoup du Nord au Sud.

A l'extrémité Nord, on a (en A) des masses de magnétite, irrégulièrement mêlées d'hématite produite par leur altération et contenant de l'apatite et de la calcite (1 p. 100 de phosphore; 5,40 de chaux). Plus au Sud, sur l'éponte Ouest, on a exploité, dans les vieilles tranchées de l'Eriksgrube, de Storrigningensgrube, etc., des hématites schisteuses mêlées au gneiss encaissant et teintées par des sels de cuivre. La tranchée de Storrigningen, qui a 90 mètres de large, est actuellement entourée par de l'hématite non cuivreuse, qu'ont laissée les anciens exploitants. Sur l'éponte Est, on retrouve une autre zone cuivreuse, exploitée autrefois par de petites tranchées d'environ 10 mètres de profondeur (Smess gr.; Bengt Ols gr., etc.). Il y a là des veines de pyrite de fer et de chal-

copyrite, injectées dans un gneiss traversé de granulite et accompagnant peut-être cette granulite. Dans l'intervalle, on a reconnu, en B, de l'hématite à 1 p. 100 de phosphore, parfois mélangée de grenat, calcite et hornblende, c'est-à-dire de cette gangue de skarn, que nous allons retrouver si souvent en Suède. De même, en C, l'hématite à 0,90 p. 100 de phosphore est mêlée de magnétite, avec grenat, hornblende, calcite et un peu d'apatite.

Toute cette zone comprend donc un axe central formé de magnétite et hématite phosphoreuses, généralement calcaires, avec concentration cuivreuse sur les deux épontes. A partir du point D, la nature du minerai se modifie très notablement; le cuivre n'apparaît plus; la magnétite fait défaut; l'aspect est plus homogène, et l'on a des masses brillantes d'une hématite, souvent poudreuse, qui tient de 60 à 67 p. 100 de fer, avec 0,20 à 1,26 de phosphore, 0,02 de soufre et 1 à 5 de chaux. Quelques points isolés ont donné des minerais à peu près purs.

Si l'on cherche à concevoir l'origine de ce gisement, on est, dans l'état actuel de nos connaissances sur lui, assez embarrassé. L'hypothèse la plus naturelle et très probablement la plus plausible est de l'assimiler aux gisements de Gellivara, Grängesberg, etc., et de le considérer, lui aussi, comme un niveau sédimentaire métamorphisé, ayant pris la composition de la magnétite dans la partie Nord, où le terrain encaissant devait être en partie calcaire et passant à l'oligiste plus au Sud. Une forte altération superficielle récente expliquerait la retransformation locale de la magnétite en hématite.

La présence de cuivre, bien qu'en proportion un peu plus forte que d'habitude, n'est pas, dans les minerais de fer oxydés, un fait anormal. Il est assez fréquent de rencontrer un peu de chalcopyrite, associée avec la magnétite, dans des gisements très divers, dont les types les plus connus sont ceux de Traverselle en Piémont ou Nijni-Taguil

dans l'Oural. A Kirunavara même, il existe des traces de cuivre en un ou deux points, et nous en retrouverons bientôt des exemples dans le gisement interstratifié de Gellivara, ainsi qu'à Dannemora et à Norberg. Il a dû probablement se déposer, dans ces minerais, en même temps que le fer, un peu de cuivre, qui se sera plus ou moins concentré sur certains points. L'action métamorphisante des granulites, qui recoupent tous ces minerais de fer scandinaves, a pu également en introduire, en même temps qu'ailleurs elle amenait parfois d'autres sulfures métallifères, dont il sera question plus loin, à Dannemora, Norberg, etc.; il n'y a rien là, par suite, qui contredise l'hypothèse d'un dépôt de fer oxydé produit par sédimentation.

Cependant cette association de l'hématite avec des sels de cuivre oxydés est, dans la plupart des gisements que nous connaissons en d'autres pays, particulièrement caractérisée pour les chapeaux de fer résultant de l'altération superficielle d'amas pyriteux profonds, et si, au lieu de la rencontrer en Laponie, nous avions affaire à un gite algérien, on devrait remarquer la ressemblance de cette lentille métallifère avec certains grands amas superficiels d'Algérie, où la même association se présente. Le fait même que la pyrite de cuivre est particulièrement localisée sur les deux épontes ressemble beaucoup à ce qui se passe dans quelques amas pyriteux très probablement intrusifs, comme celui de Sain-Bel dans le Rhône (*), où la masse centrale est formée de pyrite de fer pure, tandis que, latéralement ou aux extrémités, on a du sulfure cuprifère et, parfois même, d'autres sulfures, de zinc, plomb, etc. On serait donc, à la rigueur, en droit de se demander (quoique l'hypothèse, je le répète, me paraisse fort peu probable) s'il n'y aurait pas eu là primitivement un gite pyriteux,

(*) Voir les coupes de ce gisement que j'ai publiées dans la *Zeitschrift für praktische Geologie*, en mai 1901.

altéré par oxydation superficielle et recristallisé, c'est-à-dire que nous serions amenés, comme nous l'avons déjà été pour Kirunavara, comme nous le serons encore pour les minerais du type Gellivara, à l'idée extrêmement problématique d'un métamorphisme très ancien, exercé sur des gîtes qui auraient été d'abord sulfurés. La plus grande objection à cette idée est la persistance locale du sulfure de cuivre, qui, s'il avait été d'abord mélangé à du sulfure de fer, ultérieurement transformé par une peroxydation complète, aurait dû être oxydé avec lui et même peut-être éliminé par suite de sa dissolution plus facile.

GELLIVARA (EN NORRBOTTEN).

A. **Disposition générale des gisements.** — Le gisement de Gellivara, par son extension, par les facilités d'étude qu'il offre, enfin par sa production industrielle, qui était récemment encore la plus élevée de toute la Suède (plus de 1.000.000 de tonnes, en 1900), mérite une description tout à fait détaillée, qui nous permettra ensuite d'être plus bref pour les gisements similaires : Grängesberg, Norberg, Persberg, etc.

La carte ci-jointe au 1/26.600e (Pl. V) représente l'allure géologique de ces gisements, autant qu'on peut la connaître dans un pays qui est presque partout recouvert de moraine glaciaire et où, par suite, les observations demeurent nécessairement très localisées, jusqu'au jour où on se décide à enlever cette couche de moraine pour commencer des travaux d'exploitation (*). Comme on le voit sur cette carte, l'ensemble du pays est formé de roches gneissiques, avec quelques pointements granulitiques, qui sont très loin, en

(*) C'est ce qui explique, en partie, pourquoi, sur cette carte, les terrains sont représentés par des taches discontinues, parfois simplement faute d'observations intermédiaires. Mais souvent aussi il y a réellement une lacune.

Suède, d'occuper la même étendue et d'avoir la même importance génétique que dans le Plateau Central, et qui, en outre, se distinguent de nos roches analogues par leur pauvreté en mica blanc. Parmi ces gneiss, les géologues locaux ont distingué les variétés suivantes : gneiss hälleflint gris micacé ; gneiss hälleflint porphyroïde ; gneiss granulitique (au sens français du mot), bréchiforme, chargé de hornblende et de cet ensemble de minéraux que les Suédois nomment le skarn (*) ; gneiss amphibolique, etc. Les hälleflints rentrent dans ce que nous appelons, en France, des leptynites, c'est-à-dire que ce sont des roches compactes ou à grain fin, euritiques et zonées, à cassure homogène et conchoïdale, essentiellement formées d'un magma granulitique de quartz et feldspath, avec parfois hornblende et chlorite (**). L'ensemble gneissique de Gellivara est donc, jusqu'à un certain point, du même type que celui qui caractérise, en France, la région de Tulle : des alternances de leptynites, gneiss à grain fin, gneiss amphiboliques et amphibolites, avec, ici, ces deux caractères spéciaux des intercalations ferrugineuses et des zones bréchiformes à granulites et à skarn. Les descriptions de détail, qui vont être données, permettront de préciser ces notions. Mais il est un point qu'il importe de signaler de suite, parce que nous le retrouverons un peu partout en Suède : c'est le caractère des granulites, très différent de celui auquel nous sommes habitués dans le Plateau Central. En principe, les granulites suédoises (et je parle ici des granulites au sens français) sont, comme

---

(*) Le skarn de Gellivara et Kirunavara ne renferme pas de grenat ni d'épidote ; il n'en contient que localement à Grängesberg ; on en trouve, au contraire, beaucoup dans les mines du Sud.

(**) Ce sont des roches de la même famille, auxquelles les Allemands et Suédois appliquent le nom de granulite, attribué, en France, aux granites à mica blanc (Voir plus loin, page 163, la description détaillée de ces roches à Dannemora) ou aux roches de quartz et de feldspath, dont il va être question plus loin.

je le redirai bientôt, des roches extrêmement pauvres e muscovite, souvent, au contraire, riches en feldspaths so diques et en microcline. Ce n'est donc pas, en réalité, l même roche qui constitue, ainsi que je l'ai montré ailleurs l'ossature principale du Plateau Central; c'est une roch beaucoup moins chargée de minéralisateurs, probablemen beaucoup plus profonde, et l'on s'explique peut-être ain comment le grundgefield scandinave, contrairement celui de toute la chaîne hercynienne (en Espagne, dans l Plateau Central, en Bretagne, en Cornwall, en Saxe, etc.) ne contient pas de métaux du groupe de l'étain, tandis qu ce dernier ne renferme pour ainsi dire pas de fer (*). Tou ces terrains cristallophylliens, que nous qualifions ainsi d même nom dans les deux régions, correspondent probable ment à des formations très différentes par leur âge comm par la forme du métamorphisme subi, et quand, faute d moyens de détermination précis, par manque d'organismes nous assimilons entre eux les gneiss et micaschistes de pay divers, nous faisons sans doute une erreur aussi énorme qu si nous confondions les uns avec les autres des calcaire tertiaires et dévoniens, rendus également azoïques par l métamorphisme, ainsi que nous sommes d'ailleurs exposé à le faire parfois dans les régions méditerranéennes.

En ce qui concerne cette question des roches encaissantes

(*) On pourrait même se demander, en constatant la relation qu sera établie plus loin entre les gabbros à olivine et les filons d'apatit chlorophosphatée, eux-mêmes rattachés par un lien assez intime ave ces granulites, qui recoupent les gabbros à leur voisinage et s'enche vêtrent chronologiquement avec eux, si les granulites elvaniques e pegmatites de Scandinavie ne dériveraient pas d'un magma beaucou plus basique que celles du Plateau Central, avec minéralisateurs moin violents (chlore au lieu de fluor). Quelque chose de ce genre a été signal plus haut (p. 62, note ***) à propos des gîtes de Port Henry, dans l'Ét de New-York. Il est possible que le fer des gisements suédois vienn souvent des gabbros, non seulement de leur ségrégation profond comme dans les gîtes étudiés au chapitre I, mais aussi de leur destruc tion sédimentaire, ce qui contribuerait à expliquer l'association séd mentaire du fer avec le phosphore dérivé des mêmes gabbros.

la carte géologique de Gellivara appelle une observation. Sur cet ensemble de gisements, qui forme évidemment un tout homogène et qui est caractérisé par deux longues zones principales, dont l'une, celle du Sud, n'est peut-être même que le repliement de la première, on se serait attendu à trouver partout les minerais, supposés sédimentaires, encaissés entre les mêmes strates des mêmes terrains. Au lieu de cela, on observe, au contact des minerais : dans l'Ouest, des gneiss à hornblende ; au Nord-Est, des hälleflints ; au Sud-Est, des gneiss granulitiques à brèche de skarn. C'est un fait que nous aurons à noter dans la plupart des gisements suédois, parfois même plus singulier encore quand une partie des minerais d'un même centre minier se trouve dans des gneiss siliceux semblant provenir d'anciens schistes ou grès métamorphisés, l'autre dans des calcaires encore subsistants, comme à Norberg. Évidemment, il faut, pour le comprendre, attribuer, avant tout, dans les faciès actuels des terrains, la plus large part au métamorphisme, qui aura, par endroits, silicifié des calcaires ou déterminé telle autre modification profonde, et, par exemple, introduit, dans les strates, des granulites, souvent accompagnées d'amphibole, après avoir produit les zones de dislocation bréchiformes correspondant au skarn. Il faut également tenir compte des variations que peut présenter, sur sa longueur, une même strate sédimentaire, plus ou moins chargée, suivant les points, de parties calcaires ou sablonneuses ; mais, dans ce dernier ordre d'idées, il ne semble pas que, lorsqu'on examine des sédiments ferrugineux plus récents, on observe, sur un espace aussi restreint de 3 ou 4 kilomètres, de semblables variations.

Au milieu de ces roches gneissiques sont intercalées, suivant deux grandes traînées principales de direction Est-Ouest, à sinuosités nombreuses, les lentilles de magnétite et d'oligiste, dont le détail est représenté sur

la Pl. V : lentilles qui, toutes, sauf en deux ou trois poin[ts] de torsion, plongent vers le Sud, avec des inclinaiso[ns] variables, mais toujours très voisines de la vertical[e].

Au Nord, on a surtout, de l'Ouest à l'Est, les amas [de] Johan, Välkomman, Hermelin, Linné, Sofia, Tingval[ls] kulle; au Sud, Hertigen, Kapten et Fredrikas.

On peut voir, sur le plan d'ensemble, la façon dont [ce] système de lentilles, tantôt semble s'effiler en une seu[le] veine, tantôt accumule les couches parallèles sur un mêm[e] point. Les gisements, dont on trouvera les noms sur *la* Pl. V et qui seront décrits un peu plus loin, ne se suivent pas régulièrement à un ou plusieurs niveaux constants, mais empiètent et chevauchent les uns sur les autres.

C'est une disposition, qui se reproduit également dans le détail. Chacune des lentilles métallifères, envisagée isolément, ne saurait être considérée *a priori* comme formée de minerai massif; elle se subdivise, à son tour, comme le fait la zone métallifère elle-même, en une série de veines plus petites avec minces intercalations de gneiss, veines grossièrement continues, bien que séparées par des joints stériles, et chevauchant souvent les unes sur les autres comme les grandes lentilles.

Il est difficile aujourd'hui de déterminer ce qui, dans cette allure, peut revenir aux conditions de dépôt primitives et ce qui a pu, au contraire, être déterminé par les accidents postérieurs à la formation.

Ces accidents, nous en avons la preuve directe dans les brèches à hornblende et skarn, qui sont un des éléments caractéristiques de la région, ainsi que dans nombre de plis, de décrochements, de failles, qui coupent et rejettent le minerai. Ils sont surtout visibles, sous cette forme, aux deux grands points d'inflexion, marqués par les gîtes de Johan à l'Ouest et de Tingvalls kulle à l'Est, où nous allons les étudier; mais, en outre, ils se traduisent par un remarquable système de filons granulitiques, qui recoupe

à la fois les gneiss et les minerais, ici comme dans tous les gisements suédois.

Ces roches transversales, dont les filons sont d'autant plus manifestes que leur teinte rose tranche sur la couleur sombre des minerais, sont ordinairement qualifiées par les Suédois de granites ou de pegmatites. Elles se rattachent au groupe que nous appelons en France des granulites, mais avec des caractères très spéciaux, qui peuvent, comme je le remarquais tout à l'heure, tenir à la profondeur plus grande de leur formation et, par suite, à la moindre abondance des principes minéralisateurs fluorés dans leur cristallisation. Le mica blanc, si normalement contenu dans les roches semblables du Plateau Central qu'il peut servir à les caractériser, fait ici, nous l'avons dit, à peu près défaut ; je ne crois même pas en avoir jamais vu dans aucune de ces roches de Laponie. Toujours, par conséquent, il s'agit de roches uniquement composées de quartz et de feldspaths (parmi lesquels abonde le microcline), ayant une structure, soit granitique, soit euritique ou elvanique, et souvent assez riches en soude.

Ces granulites et pegmatites, malgré leur caractère filonien incontestable, prennent, en bien des cas, une allure interstratifiée, et leur direction générale est conforme à celle des minerais de fer, que leur zone suit de près. Je serais assez porté à croire qu'elles ont dû avoir une influence sensible sur l'allure actuelle des minerais, tant par la réduction résultant des hydrocarbures, qu'elles semblent, comme nous le verrons, avoir contenus en abondance, que par une introduction possible de phosphore en rapport avec leur propre richesse fréquente en apatite (*). La pénétration

(*) Quand nous reviendrons spécialement sur la question de l'apatite, nous verrons qu'il existe de nombreux exemples de granulites ou pegmatites à apatite, parfois avec oligiste comme, à Välkomman. On a quelquefois essayé de l'expliquer par un simple phénomène de sécré-

de semblables granulites en veines minces dans les feuillets du gneiss a donné un peu partout des « gneiss granulitisés », analogues à ceux du Plateau Central ou à ceux que l'on appelle des gneiss rouges en Saxe. Souvent aussi, ces granulites ont consolidé des zones de dislocation bréchiformes, qui, dans la partie Sud de Gellivara, forment les épontes ordinaires des gisements et qui en sont un élément très caractéristique (brèche et skarn).

B. **Nature et composition des minerais.** — Les minerais exploités à Gellivara sont, presque exclusivement, de la magnétite, très accessoirement de l'oligiste, qui se localise dans la zone tout à fait septentrionale des gisements, c'est-à-dire au mur de l'ensemble, par un phénomène que nous retrouverons également à Grängesberg.

Tous ces minerais sont cristallisés. La magnétite de Gellivara se présente rarement en masses compactes à grain fin, à cassure d'acier, comme celle que l'on trouve dans d'autres gisements suédois et qui existe à Kirunavara. Elle est ordinairement en grains bien individualisés, ayant souvent 1 millimètre et plus de diamètre ; parfois, elle atteint une moyenne de 2 à 3 millimètres dans certains minerais très riches en apatite cristallisée, où le mélange grenu d'apatite et de magnétite présente le même aspect extérieur que celui des éléments noirs et blancs dans un granite ou une diorite. Il en résulte que ces minerais sont fréquemment friables et donnent à l'abatage une forte proportion de poussière ; nous avons vu qu'il n'en est pas de même à Kirunavara.

L'oligiste, quand il existe, commence par apparaître en mélange avec la magnétite, puis se concentre sur certains

---

tion secondaire. Dans les filons d'apatite d'Oddegaarden, en Norvège méridionale, on observe très bien que les apatites s'intercalent au milieu de venues granulitiques, postérieures aux unes, antérieures aux autres, et peut-être en rapport avec leur ensemble.

points, où il domine ; il est alors en masses brillantes, souvent schisteuses, dont les lamelles aplaties ont un peu la disposition d'une cote de mailles.

Ces minerais sont presque tous très riches en phosphore, mais purs en autres substances étrangères. Je commencerai par dire un mot de celles-ci pour ne plus avoir à y revenir.

La teneur en soufre est très faible ; j'ai observé, en quelques points exceptionnels, un peu de pyrite, notamment dans les minerais purs en phosphore de Kapten et de Selet.

Le cuivre, dont les sels verts font immédiatement remarquer la moindre trace, se montre, comme une rareté minéralogique, en trois ou quatre points (au toit de Tingvalls kulle, au Sud-Ouest de Sofia supérieure, etc.).

La calcite est des plus rares ; ces minerais se sont probablement formés dans des terrains essentiellement siliceux, très pauvres en calcaire, en sorte qu'on ne trouve pas non plus les minéraux résultant du métamorphisme d'éléments calcaires, tels que le grenat, si abondant dans d'autres gisements suédois.

Cependant, la hornblende est très abondante avec la magnétite dans les gisements du Sud (zone de Kapten), qui, de toutes façons, présentent plus d'analogies que ceux du Nord avec les gisements de la Suède méridionale. Je dirai bientôt la relation originelle ou fortuite que cette hornblende offre souvent avec la granulite.

Enfin, je citerai, à titre de curiosité, la présence d'un peu de fluorine accompagnant la granulite à Tingvalls kulle (*) et celle de quelques zéolithes (chabasie, etc.) résultant de réactions secondaires à Selet, etc.

Les analyses suivantes, faites en 1862 par Rinman, pré-

(*) Il existe également de la fluorine et même du béryl à Grängesberg. Ces minéraux sont probablement en relation avec les pegmatites, postérieures au minerai.

ciseront ces questions de composition pour les n les plus purs en phosphore.

	Hertigen	Tingvalls kulle	Robsahn	Välkomman	Fi
Fe^3O^4......	92,10	90,65	87,80	88,35	9
Fer........	66,7	65,7	63,6	63,9	6
MnO.......	»	»	»	»	t
MgO.......	0,70	0,60	2,50	0,50	
CaO........	2,10	2,35	2,40	2,10	
BaO........	»	0,10	»	»	
Al^2O^3.......	0,70	0,85	1,05	0,20	
SiO^2.......	2,10	3,10	5,95	4,70	
Ph.........	0,742	0,512	0,038	0,394	

J'arrive à la *teneur en phosphore*, dont l'imp industrielle est capitale.

Cette teneur en phosphore correspond ici beaucou à du phosphore incorporé dans l'oxyde de fer mêmc l'apatite distincte, tantôt cristallisée en même temp magnétite, tantôt localisée au milieu de celle-ci tilles et veines de grandes dimensions, qui ont al vent une relation directe avec les filons de granuli pegmatite.

En laissant de côté ces lentilles et veines, on souvent, dans les cas où l'apatite est très abo des zones stratifiées alternantes de fine apatite ros dâtre et de magnétite; plus souvent, un mélange i grenu à proportions très variables des deux miné

L'apatite est si facile à distinguer de la magn premier coup d'œil qu'avec une courte expérience les de Gellivara arrivent à séparer les cinq catég minerais suivantes, qui forment autant de produ chands indépendants :

A. Au-dessous de 0,05 p. 100 de phosphore ;
B. Entre 0,05 et 0,1 -
C. Entre 0,1 et 0,8
D. Entre 0,8 et 1,5 —
E. Au-dessus de 1,5 p. 100, quelle que soit la ten

Ce triage, qui laisse surtout place à des erreurs entre les minerais B et C d'une part, C et D de l'autre, est, en pratique, contrôlé par une série d'analyses chimiques, correspondant à autant de prises d'essai minutieusement exécutées.

Commercialement, les minerais A et B, qui, sans être purs, se rapprochent néanmoins des anciennes qualités de minerais autrefois exploités en Suède, sont traités dans les usines suédoises. Au contraire, les minerais C, D, E sont exportés, principalement en Allemagne, un peu aussi en Angleterre et en France (Anzin), où on les traite par le procédé Thomas. Les minerais D et même E paraissent trouver un écoulement aisé. Il n'en est pas de même des minerais C, intermédiaires entre ceux qui conviennent au procédé acide Bessemer et ceux destinés au procédé basique Thomas.

La partie la plus phosphoreuse des minerais E va aujourd'hui à une usine de fabrication de phosphates, située à Luleå, dont je dirai quelques mots plus loin.

Géologiquement, il y a lieu de remarquer que les minerais A et B d'une part, D et E de l'autre, c'est-à-dire, d'un côté, les minerais relativement purs, destinés aux usines suédoises et, de l'autre, les minerais phosphoreux pour exportation, forment, à Gellivara, deux zones bien distinctes : l'une, au Sud, comprenant les gîtes de Hertigen, Kapten, Fredrikas, Selet ; l'autre, au Nord, beaucoup plus importante, à peu près tous les autres gisements.

Dans la série des grandes exploitations de Johan, Välkomman, Linné, Hermelin, Josefina, Tingvalls kulle, qui donnent aujourd'hui presque tous le tonnage de l'extraction, on ne trouve guère que des minerais D et E et, en certains points, on passe à de véritables gisements d'apatite.

On peut remarquer pourtant que, lorsque l'oligiste

apparait, la teneur en phosphore semble ordinairement y être plus faible que dans la magnétite. C'est un fait qu nous retrouverons en étudiant les gisements de Grängesberg, mais qu'il ne faudrait pas cependant généraliser outr mesure; car les magnétites de Dannemora, par exemple sont parmi les minerais les plus purs de la Suède.

Si l'on cherche à se faire une idée du mode de formation de ces gisements, il est difficile, comme nous l'expliquerons ultérieurement plus en détail, d'y voir autre chos que des dépôts sédimentaires, autrefois encaissés dans de grès et schistes, dont le métamorphisme a fait des gneis hälleflints, schistes micacés, etc. On a beaucoup discut en Suède sur cette question d'origine, aussi bien ici qu Kirunavara ou à Grängesberg, et l'on pourrait évidemmer essayer d'imaginer une imprégnation postérieure de te rains gréseux ou schisteux par des eaux ferrugineuses, qui expliquerait, dans une certaine mesure, l'éparpille ment des gisements; mais, ici comme à Grängesberg, l'i terstratification est trop constante et trop poursuivie da le détail pour qu'il soit facile d'échapper à l'hypothèse d' dépôt sédimentaire. Le phosphore semblerait donc av accompagné l'oxyde de fer, comme il le fait, par exempl dans les minerais de Meurthe-et-Moselle, et s'en être sépar sous l'action du métamorphisme, pour cristalliser en ap tite. Une faible partie de ce phosphore a pu égaleme être introduite après coup par les venues de pegmatit peut-être en même temps que l'oligiste se transformait magnétite, comme je le dirai à propos de Grängesberg

Pratiquement, on a des raisons pour supposer que lentilles de minerai ont la forme de disques aplatis, doivent présenter, suivant l'inclinaison, des dimensi comparables à celles qu'on leur connait, suivant la dire tion horizontale. On ne voit, en réalité, que ceux disques, qui se sont trouvés recoupés, à la suite de l'érosi par la superficie actuelle, et les amas, qui nous sembl

es plus importants, ont quelques chances pour avoir été nis au jour à peu près suivant leur section maxima, c'est-à-dire qu'on doit s'attendre théoriquement à voir chacun e ces gites disparaître un jour ou l'autre en profondeur; nais, comme certaines lentilles ont de 3 à 500 mètres de ong et que leur alignement se prolonge sur plus de 4 kilomètres, il n'y a pas là de raison pour être inquiet sur l'avenir des exploitations. Les mines de Grängesberg, où l'on a dépassé en plusieurs points 300 mètres de profondeur verticale sans amoindrissement sensible, sont, à cet égard, un exemple rassurant.

C. **Disposition d'ensemble des exploitations et description géologique des principales tranchées.** — Nous allons compléter et préciser les observations précédentes en parcourant successivement les points les plus intéressants des avaux : ceux, où l'on peut le mieux, sinon résoudre les nombreux problèmes relatifs à ces gisements, au moins s poser sous une forme précise et apporter quelques éléments de fait à leur future solution.

Il existe, à Gellivara, comme je me suis déjà trouvé le re, plusieurs zones, ou, si l'on veut, plusieurs couches de minerai (*).

(*) Au point de vue du mode d'exploitation, on peut également séparer, à Gellivara, deux régions tout à fait distinctes :

1° Au Sud, se trouve la région des minerais purs en phosphore, sur laquelle, pour cette raison, ont porté toutes les anciennes exploitations où, par suite, les exploitations actuelles se sont trouvées gênées par passé, outre que la situation topographique au pied de la montagne t beaucoup moins favorable; ces minerais du Sud commencent à être exploités par puits;

2° Au Nord, s'étend la région des minerais phosphoreux, ou minerais exportation, sur lesquels on a pu organiser plus librement une grande exploitation rationnelle en utilisant une dénivellation, qui atteint, à älkomman, 180 mètres au-dessus de la gare de Malmberget, et 143 mètres à Tingvalls kulle.

D'une façon générale, tous les minerais extraits des mines de Gellivara, sauf ceux de Kuskulls kulle, passent par la station de Malmberget, pour descendre de là au port d'embarquement de Luleå. Il existe

1° Au Nord, une longue bande, presque continue sur 4 kilomètres de long (bien que présentant diverses inflexions et formée de nombreuses lentilles distinctes), comprend, de l'Ouest à l'Est : Johan, Välkomman, Linné, Baron, Hermelin, Josefina, Desideria, Upland, Sofia, Vulkan et Tingvalls kulle.

Ces gisements sont situés, dans des conditions d'exploitation favorables, à une altitude élevée variant de 470 à 600 (la gare de Malmberget est à 419), les premiers sur le flanc Sud, les derniers sur le flanc Nord de la montagne de Malmberget, qui, par son flanc Sud, domine la plaine de Gellivara ;

2° A mi-coteau, se trouvent quelques lentilles isolées, dont la principale est celle de Selet (cote 534) ;

3° Au Sud, l'ensemble Hertigen, Kapten et Fredrikas porte sur trois lentilles dans le prolongement direct l'un de l'autre, qui vont en s'élevant depuis la station de Malmberget (cote 419), à l'Ouest, jusqu'au haut de Fredrikas, à l'Est (489).

Je mentionnerai encore, à l'Est, une lentille isolée celle de Kuskulls kulle (cote 389), qui n'appartient pas à la Société des Mines de Gellivara, mais à la maison Rothschild de Vienne, et sert à alimenter les usines de Witkowitz en Silésie.

Commençons par parcourir la bande Nord, de l'Ouest à l'Est.

Les petits gisements, situés tout à fait à l'Ouest, dans le

---

deux voies de chemin de fer minières : l'une, à l'Ouest, allant vers Välkomman ; l'autre, à l'Est, faisant le tour de la montagne pour aller desservir, par le versant Nord, Tingvalls kulle, voies auxquelles les divers gîtes sont reliés par des plans inclinés plus ou moins longs (de 60 à 150 mètres). Parmi les champs d'exploitation, le principal est, de beaucoup, celui de Tingvalls kulle, qui produit à lui seul la plus grande partie des 1.100.000 tonnes extraites par an à Gellivara ; puis viennent les deux grandes tranchées de Sofia, celle de Välkomman et celle de Linné ; enfin, pour les minerais peu phosphoreux, celles de Selet, Hertigen, Kapten et Fredrikas.

gneiss à hornblende ou les massifs de granulite qui les traversent (Bergmastar, Svensel, Robsalm, etc.), n'ont été, jusqu'ici, l'objet que de reconnaissances magnétiques et n'entrent pas en ligne de compte. La première lentille exploitée est celle de *Norra Johan* (*fig.* 12), dirigée dans l'ensemble Nord-Sud et tordue en S (70 mètres de long sur 12 à 15 mètres de large). Elle est encaissée entre un gneiss micacé et un gneiss granulitique, chargé de veines et lentilles de granulite, et, en même temps, d'apatite, qui, d'après sa position, forme le toit réel, mais qui, par suite de la torsion subie et d'un renversement local résultant de cette torsion, semble, dans la partie Sud, en B, plonger sous le minerai.



Fig. 12. — Plan de la lentille Johan à Gellivara.

Nous avons donc là, dès la première exploitation que nous visitons, un exemple des dislocations, auxquelles les terrains, avec les minerais inclus, ont été soumis; il y a, sinon des failles, au moins des plis assez brusques pour en donner l'impression. Plus à l'Est, nous parcourrons tout à l'heure une zone assez régulière de minerais, où de semblables accidents se feront rares; mais il suffit de regarder la carte pour voir qu'en deux autres points, Josefina (au Centre) et Tingvalls kulle (à l'Est), une semblable torsion s'est produite, et pour y prévoir un retour d'accidents mécaniques analogues, que nous y constaterons en effet. Ces torsions n'ont certainement pas été sans influence sur la formation de gros amas, au moins en partie dus à l'accumulation des couches repliées sur elles-mêmes.

Les roches encaissantes à Johan prêtent également à des observations intéressantes. On y a un exemple de la complexité des phénomènes subis en examinant les coupes, dont la *fig.* 13 donne un spécimen.

Cette coupe de la *fig.* 13, prise à l'Est de la couche (au [redacted] mur), à son extrémité Sud, en B, montre, en résumé, un [redacted] système de veines granulitiques (auxquelles s'applique une [redacted] remarque précédente sur l'absence du mica blanc) ,

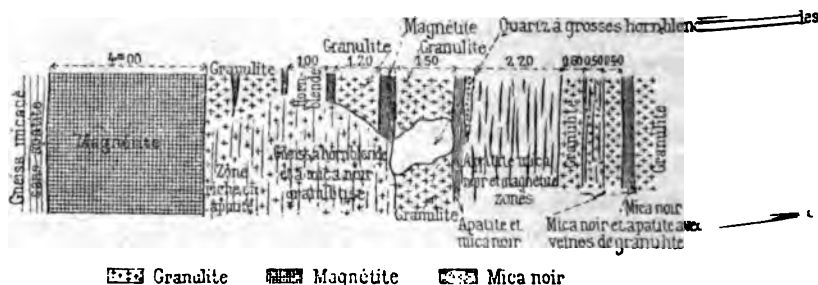


Fig. 13. — Coupe au $\frac{1}{20}$ de la paroi Est de la lentille Johan au point [redacted] de la *fig.* 12.

pénétrant dans des gneiss à hornblende et à mica noir, alternés avec des lits de magnétite. Par endroits, il s'est formé un gneiss granulitisé, comme celui auquel nous sommes habitués dans le Plateau Central; ailleurs, on a des filons de granulite rose, atteignant 1m,50 de large. Au milieu de cette granulite, on observe des lentilles de quartz, renfermant de gros cristaux de hornblende en masses de plusieurs centimètres. Il faut encore noter, à 6 mètres de la magnétite, une première zone de 2m,20 formée d'alternances d'apatite, mica noir et magnétite zonées comme le minerai lui-même, puis d'autres petits lits minces de magnétite de 0,10 à 0,40. Enfin, 1 ou 2 mètres avant la magnétite, le gneiss se charge beaucoup d'apatite. La magnétite est elle-même parmi les plus phosphoreuses; c'est un mélange de magnétite et d'apatite cristallisées, ne fournissant que des minerais D et E. Au contraire, quand on passe au toit du minerai, on a un gneiss normal à mica noir et sans apatite.

Plus au Nord du gisement et sur la paroi Est, en A, on trouve un minerai d'apatite zonée alternant avec du mica noir et un peu de magnétite, avec veines de granulite rose.

Si on laisse de côté la granulitisation, qui, ainsi que nous le verrons dans toutes ces mines, a dû se produire après le dépôt du minerai, et si l'on veut reconstituer l'état des choses avant le métamorphisme, on peut interpréter ces faits en supposant là, de l'Est à l'Ouest, une alternance de schistes phosphatés à délits ferrugineux, puis de schistes calcaires (devenus à hornblende) avec encore minces délits d'oxyde de fer et parties phosphoreuses au sommet, enfin un lit d'oxyde de fer, recouvert par des grès argileux sans phosphate ni fer.

Après le gisement de Johan vient l'importante lentille de Välkomman, que prolonge celle de Linné. Les exploitations de *Välkomman* portent sur une largeur de 110 mètres et une longueur de 150, composée : partie de magnétite phosphoreuse D ; partie d'oligiste, qui tient ici, dans le gisement, une place anormale pour Gellivara. On peut même se demander si, conformément à une observation dont je reparlerai à propos de Grängesberg, l'oligiste n'est pas ici le minerai initial, la magnétite résultant de sa réduction par des actions filoniennes dues aux granulites. On observe, en effet, à l'extrémité du champ d'oligiste, une zone de magnétite très poudreuse, traversée par divers filons d'apatite, des veines de quartz et un gros filon de granulite et apatite de 1 mètre de large, qui contient lui-même des lentilles d'oligiste en grands cristaux de près de $0^m,05$: soit que cet oligiste résulte d'une cristallisation directe de chlorure de fer apporté de la profondeur par l'action filonienne, soit qu'il ait été emprunté au gisement antérieur et remis en mouvement.

A *Linné*, on remarque également, dans l'Ouest, au milieu de la magnétite, une lentille de 6 mètres de large, limitée en tous sens et formée d'apatite avec grosses poches d'oligiste. Dans toute cette lentille, le mur stérile est très net-

tement séparé du minerai par une grande surface lisse, souvent gondolée, dont la photographie, reproduite ci-contre (*fig.* 14), indique assez l'aspect très caractéristique,



Fig. 14. Paroi gondolée au mur du gisement de Gellivare (Linnégrube). [illegible]

explicable seulement par un mouvement de glissement et de frottement violent. Ce n'est pas là un cas isolé, et nous aurons à en signaler d'analogues à Grangesberg.

Après Linné viennent les tranchées de *Baron*, *Hermelin*, *'plands*, *Josefina*, où les minerais sont du même genre, ›ujours très phos-horeux (D et E) 'est-à-dire formés 'un mélange cristal-n d'apatite et de .agnétite. La lar-eur, de 15 mètres à plands, est de 20 à) à Josefina. Un plan t une coupe ci-joints *'ig*. 15 et 16) mon-·ent la disposition à orra Hermelin. On eut remarquer, sur ι *fig*. 15, la façon ont la grande lentille e l'Est, composée de ıagnétite, est exac-ement bordée, sur ne assez forte lon-ueur, par des filons de granulite. A l'Ouest, une seconde ›etite lentille G, séparée de la première par un dôme de ;neiss (*fig*. 16), est composée d'hématite.

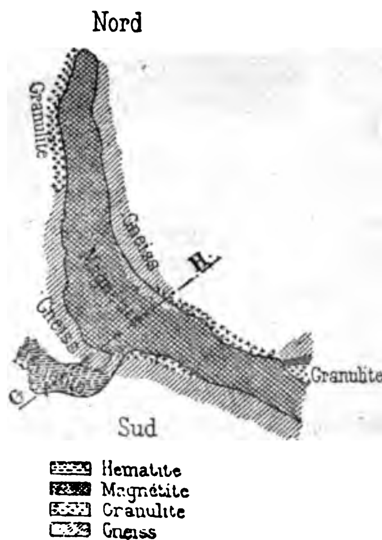


Fig. 15. — Plan au $\frac{1}{4000}$ de la lentille Hermelin (Gellivara).

Plus loin, les deux tranchées de *Sofia Albertina* portent ·ur une grande lentille de 450 mètres de long, et de lar-;eur variable (jusqu'à 45 mètres). Les minerais sont tou-ours très phosphoreux (un peu moins cependant dans l'Est que dans l'Ouest) et, à l'Ouest, on a surtout de la magnétite nassive, traversée par des veines d'apatite de 5 centi-nètres constituant du minerai D. A l'Est, le minerai, plus rrégulier, à plus gros grains, souvent mélangé d'apatite ·ristallisée, peut se diviser en trois catégories C, D, E.

Enfin la tranchée de *Tinkgralls kulle* est la plus impor-

tante de toutes et fournit, depuis 1894, la plus forte pro-

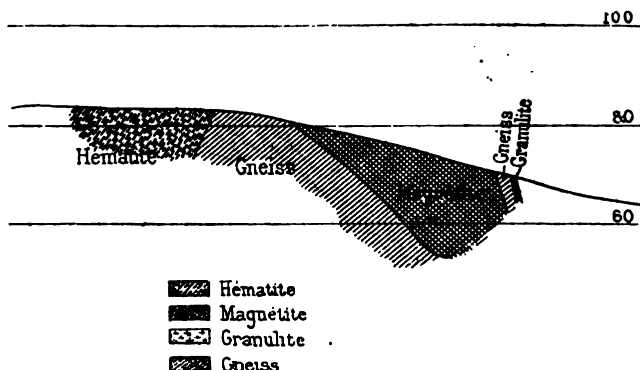


Fig. 16. — Coupe GH à Hermelin (Gellivara) au $\frac{1}{1600}$.

duction de Gellivara. Attaquée sur 160 mètres de long

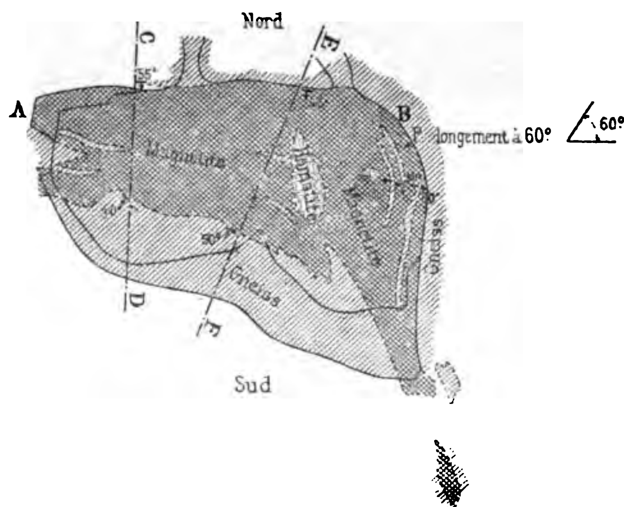


Fig. 17. — Plan de Tingvalls kulle (Gellivara) au $\frac{1}{4000}$.

et 100 mètres de large par deux étages de 15 mètres

chacun, elle porte sur un grand amas de magnétite phosphoreuse (C, D, E), situé à une inflexion des couches, qui s'y recourbent à peu près à angle droit, passant de la direction Est-Ouest à la direction Nord-Sud. Il en résulte, au coude même, en B (*fig.* 17), une haute paroi de gneiss micacé, absolument nette comme un mur de faille. Le plan (*fig.* 17) montre la disposition générale de cette lentille, ainsi que les interstratifications de veines gneissiques et l'apparition, au centre de la magnétite, d'un noyau d'hématite assez difficile à expliquer. J'y ai noté, en divers points, l'angle des plongements sur l'horizon. Vers le Sud-Est, la lentille se réduit peu à peu à un banc mince de 6 à 8 mètres de large, qu'on peut suivre assez longtemps avec cette épaisseur. Au Nord, vers le point B, le gneiss micacé est, sur environ 5 mètres d'épaisseur, pénétré de nombreuses veines d'apatite, qui atteignent 0,10 à 15 de large et, tout à côté, le minerai est, en même temps, parmi les plus phosphoreux (E) : ce qui semblerait en rapport avec l'idée d'une introduction, ou, au moins, d'un déplacement du phosphore postérieur aux gisements. On peut également remarquer, vers ce point B, au tournant des couches, un peu de fluorine, qui constitue un élément très rare dans ces minerais. Au toit de la couche, c'est-à-dire au Sud, il existe des traces de malachite.

Si nous passons maintenant à la zone Sud, nous allons trouver des conditions de gisement assez sensiblement différentes, aussi bien comme nature de minerai que comme roches encaissantes, soit qu'il y ait eu originairement deux couches distinctes, soit plutôt que le métamorphisme ait agi différemment sur une autre portion de la même zone, repliée après une inflexion complète, qui semble indiquée vers Dennevitz.

De ce côté, il n'existe plus du tout d'hématite, comme dans la zone Nord, où nous en avons trouvé des noyaux plus ou moins volumineux en divers points. Tout le

minerai est de la magnétite et celle-ci, à grains cristallins beaucoup moins apparents, bien plus homogène, est aussi beaucoup moins phosphoreuse. C'est là que se trouvent, par endroits, les minerais tout à fait purs en phosphore, sur lesquels ont été faites toutes les anciennes tentatives d'exploitations, depuis le début du XVIIIe siècle.

Peut-être faut-il chercher un lien entre ces divers indices d'un métamorphisme plus accentué et l'abondance particulière des granulites, qui forment même un gros dyke au Sud, ainsi que la présence générale, au toit et au mur, d'un gneiss granulitisé bréchoïde, mêlé de hornblende et parfois de magnétite et constituant le skarn. Enfin, nous allons avoir à signaler quelques signes d'une altération tout à fait superficielle et récente, caractérisée notamment par le développement de zéolithes.



Fig. 18. - Plan théorique à Selet (Gellivara).

La petite lentille isolée de *Selet* a une forme assez spéciale, dont la *fig.* 18 peut donner l'idée. Vers l'Ouest, une galerie d'accès montre de la granulite rose à hornblende abondante, avec nombreux fragments bréchiformes entourés d'épidote et de hornblende ; puis on passe au gneiss granulitique confus et, vers l'Est, en N, on trouve un mélange complexe de pegmatite rouge à gros éléments, avec de l'apatite verte, de la hornblende et de la magnétite, qui compose le skarn. De ce côté, la lentille se divise en une série de veines minces intercalées dans la magnétite. Au Sud, en M, on peut voir, dans la magnetite même, une veine

Est—Ouest de granulite blanche de 0m,10 de large, et la magnétite, au voisinage, est remarquablement chargée de pyrite, qui pourrait donc avoir été apportée par cette venue filonienne, ainsi que nous sommes amenés à le supposer également pour une partie de l'apatite. C'est dans les fissures de cette granulite qu'il a cristallisé une zéolithe radiée.

Nous arrivons enfin à la dernière zone, la plus anciennement exploitée, qui comprend les tranchées d'*Hertigen*, *Kapten* et *Fredrikas*.

La Pl. VI montre, en plan et en coupe, les dispositions générales de ce groupe, qui apparait formé de trois lentilles très voisines l'une de l'autre, mais séparées par ce mélange confus et bréchiforme de granulite, hornblende, etc., que nous avons déjà rencontré à Selet ; on peut y voir également l'allure des grands filons de granulite rose très rectilignes, qui recoupent l'ensemble.

Contrairement à ce que nous avons observé dans la zone Nord, les minerais sont ici assez purs et comparables à ceux de la Suède Centrale ; ce sont des magnétites compactes, sans mélange ordinaire d'apatite, quoiqu'en renfermant parfois quelques cristaux vert clair disséminés et appartenant aux deux variétés A et B. Des traces de pyrite n'y sont pas absolument exceptionnelles. L'exploitation à ciel ouvert de ces lentilles est à peu près terminée, et l'on y commence des travaux souterrains (*).

(*) Je donne, à ce propos, quelques chiffres relatifs à l'exploitation de Gellivara. Pour abattre 800.000 tonnes en 1899, on employait 1.400 ouvriers, dont 500 foreurs, 600 rouleurs et chargeurs, 80 boiseurs, 200 charpentiers, forgerons et ouvriers divers, 30 mineurs employés en recherche. A Tingvalls kulle, chaque homme abat par jour 10 à 12 tonnes de minerai, plus 30 pour 100 de stérile, soit 15 à 16 tonnes de tout-venant. A Hertigen, un homme fait, au maximum, 3 à 4 tonnes. Le prix des foreurs est de 7 francs pour un travail de douze heures ; les rouleurs gagnent 4 fr. 90 à 5 fr. 60 par poste de huit heures ; une galerie ordinaire de 2m,20 sur 2m,20 coûte 84 francs le mètre dans la magnétite, 100 à 120 francs dans le gneiss.

La force motrice utilisée à Gellivara est fournie par une station cen-

Quelques points méritent d'être étudiés en dét

Ainsi la *fig.* 1(
sente en coupe verti
l'éponte Ouest de la
Hertigen au point *a*
d'une veine de gran
avec des lits de mag
0^m,10 dans le gneiss
Elle montre, dans l
granulite, des lits
gnétite mince et de
cations transversal
quées par des le
quartz et des paquet
blende, coïncidant
rejet de ces lits de n



FIG. 19. — Partie Ouest de la tranchée Hertigen (Gellivara). Détail d'une veine de granulite en coupe verticale.

Quand on parcou
chée de Kapten,
observer, au point
ponte Sud, c'est-à-di
après le minerai pr
dit, qui, à la fin,
poussiéreux et mêl
blende, une roche
alternatives de magnétite, hornblende et magn
tique, dont la *fig.* 20 représente le détail, en me

trale d'électricité, qui comprend 930 chevaux de force. Le Gellivara à Luleå se fait, à raison de 7 trains par jour, a 675 wagons et 31 locomotives. Il coûte environ 4 francs pour 211 kilomètres, soit 0^f,0189 par tonne et kilomètre. Luleå, on est outillé pour charger par jour 10.000 tonnes Il y a, à cet effet, 2 quais de chargement pour les gra 1 pour les petits et 2 quais de déchargement. Le dernier truit en 1891, de 300 mètres de long, permet de déchar ment et automatiquement, dans la cale des navires, de 25 tonnes. L'expédition se fait surtout vers l'Allemagne : s phalie par Rotterdam, soit la Silésie par Stettin et l'Oder.

en évidence la façon dont la granulite, tantôt s'interstratifie localement, tantôt recoupe nettement les strates. La hornblende semble là, comme dans la plupart des cas semblables, avoir une relation d'origine avec la granulite. Toutes ces granulites roses, presque exclusivement feldspathiques, contiennent ainsi de gros paquets de hornblende. Puis viennent des quartzites avec délits irréguliers de hornblende et, nettement séparé des roches précédentes, apparait un gneiss gris fin avec veines et noyaux de pegmatite.

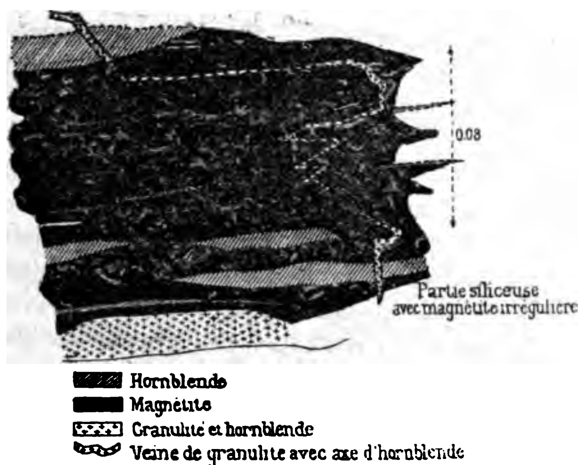


Fig. 20. — Extrémité Est de la tranchée Kapten.
Zone de transition entre la magnétite et la gneiss.

En face de ce point, sur l'éponte Nord, en *c*, on a une grande confusion de granulite amphibolique mince, de gneiss gris et de magnétite avec hornblende, des paquets lenticulaires de hornblende et de feldspath rose mêlés en désordre avec de la magnétite grenue et généralement zonée. C'est le phénomène généralement représenté, sur la carte des Pl. V et VI, par la notation « brèche et skarn », et particulièrement visible sur toute l'éponte Nord de

Fredrikas. Peut-être faut-il supposer, en admettant toujours l'origine sédimentaire du fer, une dislocation générale des terrains, ayant préludé aux venues granulitiques et ayant été ressoudée par elles. L'abondance de la hornblende pourrait indiquer l'existence ancienne de lits ou, du moins, de parties calcaires, reprises dans ce métamorphisme.

GRÄNGESBERG (KOPPARBERG) (*).

A. **Situation des gisements. — Description générale.** — Le gisement de Grängesberg est situé entre Falun (bien connu pour ses mines de pyrite cuivreuse) et Kopparberg, sur la ligne de Falun à Orebro. Les premières concessions y datent de 1714, mais se sont surtout multipliées vers 1785; elles furent très nombreuses; néanmoins les exploitations restèrent tout à fait restreintes, jusqu'à la découverte du procédé Thomas; en raison de la nature phosphoreuse des minerais il fut même, pendant quelque temps, interdit de les extraire pour ne pas nuire à la réputation des fers suédois. Depuis que les minerais phosphoreux ont trouvé un débouché important, les innombrables propriétaires de mines, à Grängesberg, se sont peu à peu réunis, et, aujourd'hui, il ne reste que les groupes suivants, dont le premier fournit à peu près seul toute la production.

1° *Grängesberg Grufve Aktiebolag*, dépendance du *Trafikaktiebolaget* Grängesberg-Oxelösund, qui, en dehors

---

(*) La bibliographie de Grangesberg comprend :

1898. NILS HEDBERG, *The Grängesberg Iron Mines*, 23 p. (publication de la compagnie, traduite du suédois).

1898. WEDDING, *Die Eisenerzvorkommen von Gellivara und Grängesberg* (*Preuss. Zeits. f. Berg-, Hütten- und Salinenwes.*, XLVI, p. 69-78, avec 1 pl.).

Cf. *Zeits. f. prakt. Geol.*, 1895, p. 39; 1898, p. 115 et 117; 1899, p. (article de Beck sur *les Minerais de fer de la Suède centrale*).

de ces mines, possède encore les lignes de chemins de fer Grängesberg-Oxelösund, Frövi-Ludvika, Orebro-Köpings, une fabrique de dynamite à Grängesberg, etc. ;

2° *Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag*, la principale société anonyme de Suède et l'une des plus anciennes du monde, qui possède les mines de Falun, l'usine de Domnarvet, de grandes forêts, des fabriques de produits chimiques, des fabriques de papiers, d'autres concessions de mines ;

3° *Vestra Ormbergs Grufve Aktiebolag* et *Grufve Aktiebolaget Lomberget*, dont les principaux actionnaires sont les usines de fer de la région.

Ainsi que le montre une carte d'ensemble ci-jointe (Pl. VII), les gisements forment une série de traînées parallèles (tantôt trois, tantôt quatre), dirigées N.N.E.-S.S.O., avec plongement Est, espacées sur 1 kilomètre de large et dont la plus orientale est, dans sa partie Nord, de beaucoup la plus importante.

On peut suivre ces gisements, qui sont nettement interstratifiés dans la série des gneiss et hälleflints, sur une longueur totale de près de 5 kilomètres, sous la forme d'innombrables petites lentilles ; mais les exploitations actuelles portent seulement sur une région de 1 kilomètre de long, où se trouvent les couches les plus développées. Dans l'ensemble, on distingue les zones suivantes :

1° Au Nord-Est, une large zone forme des lentilles, qui atteignent 80 et 90 mètres de large, où l'on exploite des minerais phosphoreux destinés à l'exportation et surtout composés de magnétite, avec une bande d'hématite au mur. C'est ce que l'on appelle l'*Export fältet*, dont je donne ci-joint un plan plus détaillé avec une série de huit coupes (Pl. VII) et qui fournit seul presque toute la production de Grängesberg.

Au Nord de cette zone, se trouve la principale tranchée à ciel ouvert, ou *Skärpningen*, dite aussi *Bergsbogrufvan*,

d'où l'on tire, sur environ 400 mètres de long et 50 à 60 mètres de largeur moyenne (soit près de 20.000 mètres carrés de superficie), 400.000 tonnes de minerai par an pour un approfondissement d'à peine 6 à 7 mètres.

Puis vient, vers le Sud, la petite tranchée de *Storbotten* et celle, beaucoup plus grande, de *Bredsjöbrottet*.

Immédiatement au mur, c'est-à-dire à l'Ouest de cette grande traînée ferrugineuse, s'en trouve une plus étroite, de 5 à 6 mètres seulement, composée surtout d'hématite, que l'on voit également sur le plan de détail.

2° Plus à l'Ouest, c'est-à-dire au mur, une autre zone comprend, dans le Nord, deux traînées étroites : l'une à 100 mètres Ouest de la première (*Norra Moss gr.*, *Sör gr.*, etc.), que prolonge peut-être, vers le Sud, l'étroite traînée dont je viens de dire un mot ; la seconde (*Hammargr.*, *Buskgr.*), à 100 mètres encore à l'Ouest de la précédente.

Après une interruption à l'aplomb du Skärpningen, on retrouve, à l'Ouest de Bredsjöbröttet, deux traînées semblables, dont la plus occidentale comprend les petites mines de *Mor Grufvan* et *Pickgrufvan* et dont l'intermédiaire paraît se prolonger jusqu'à l'extrême limite Sud du champ d'exploitation vers *Icarränan*, *Vattenflaskan* ou *Granlund*.

Ces petites lentilles secondaires sont celles qui fournissent les minerais les plus purs et sur lesquelles ont, par suite, porté surtout les anciens travaux, généralement abandonnés en ce moment. On en extrait en tout à peu près 50.000 tonnes de minerais Bessemer, qui sont consommés dans les usines suédoises de Domnarvet, Ludvika, etc., tandis que les grandes lentilles de l'Est donnent 6 ou 700.000 tonnes de minerais phosphoreux, à 1,5 p. 100 de phosphore en moyenne, exportés en Allemagne (*).

(*) Les prix de vente variaient en 1899 (sur la mine) de 7 à 9 francs pour les minerais phosphoreux à 13 ou 14 pour les minerais purs et même

13. Description géologique. — Les roches, qui encaissent les gisements de Grängesberg, sont classées, d'une façon générale, par les géologues suédois, dans la catégorie de ce qu'ils appellent des granulites (leptynites françaises) (quartz, orthose, plagioclase et mica). La visite des travaux les montre un peu plus variées qu'on ne s'y attendrait. En général, ce sont des gneiss rubanés à grain fin, surtout formés de quartz et de mica, avec peu de feldspath. Ailleurs, l'exagération du quartz ou du mica les fait passer à des quartzites ou à des micaschistes (toit de Bergsbo). Il est peut-être permis de les considérer comme des calcaires plus ou moins schisteux, silicifiés et métamorphisés.

Ces couches de quartzites micacés ou de gneiss, quand elles sont mises à nu par les grandes tranchées à ciel ouvert, apparaissent remarquablement continues, seulement un peu gondolées ou cassées par quelques rejets; le minerai n'y lance jamais d'apophyses latérales : ce qui arriverait sans doute, si l'on avait affaire à une série de filons-couches.

En résumé, le caractère sédimentaire parait nettement accusé dans les gîtes de Grängesberg et c'est là une indication en faveur de l'origine sédimentaire des gites de Gellivara, que nous venons d'étudier et qui leur ressemblent tant. La continuité en profondeur de lentilles ou de veines très minces, comme celles du Sud (Granlund, Vattenflaskan, etc.), inclinées à 50 ou 60° et suivies à plus de 300 mètres en profondeur, est évidemment un indice assez

---

pour ceux de Björnsberget. qui ont l'avantage d'être, en même temps, calcaires.

La production de Grängesberg s'est accrue, depuis dix ans, dans les proportions suivantes :

1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1899
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	environ
131.000	165.000	208.000	258.000	270.000	401.000	476.000	639.000	629.000	800.000

concluant ; de même, les alternances de leptynite et magnétite en zones minces, ou encore la structure microscopique des minerais, qui montre la magnétite tantôt englobée par le quartz et le feldspath, tantôt les englobant, c'est-à-dire cristallisée dans les mêmes conditions qu'eux.

Cependant si, pour les couches minces, la théorie sédimentaire s'impose presque, on éprouve, au premier abord, quelques difficultés à s'expliquer, dans cette hypothèse, la formation des grosses masses de magnétite, au milieu desquelles courent des bandes transversales de roches stériles, comme celles qui figurent en XY ou en XZ, sur le plan, dans la tranchée de Bergsbo et qui arrivent à former des boucles complètes. La bifurcation du point X est particulièrement frappante à cet égard, quand on visite les travaux. A la réflexion, il semble, au contraire, qu'un pareil fait soit une confirmation indirecte de la même théorie. Les amas de dimensions exceptionnelles sont, en effet, généralement concentrés, ici, comme à Gellivara (Tingvalls kulle, Johan), sur des points, où les couches doivent avoir subi une compression, un refoulement dans le sens de leur longueur. Les boucles, formées par les intercalations de couches stériles, semblent le résultat d'une telle compression, exercée sur deux strates d'abord parallèles, qui aura eu pour effet d'accumuler entre elles une masse ferrugineuse empruntée à une strate intermédiaire primitivement assez longue, de même qu'à Tingvalls kulle (Gellivara), c'est sur un coude brusque des couches que s'est faite cette accumulation. Nous retrouverons quelque chose d'analogue à Norberg.

Le même caractère schisteux et zoné, qui nous frappe ainsi dans l'ensemble, se retrouve également dans le détail (*).

(*) Les géologues suédois et allemands attachent une grande importance à la conformité de détail entre les schistes sinueux et les minerais encaissés pour prouver leur contemporanéité (Voir, par exemple, le cas du Rammelsberg). Cette conformité de détail, loin de me sembler aussi

Enfin l'origine sédimentaire convient également bien pour expliquer la grande différence que présente la large zone de l'Est, de plus en plus phosphoreuse, quand on va vers l'Est, avec les zones minces de l'Ouest, pures en phosphore : cela est tout naturel si l'on a affaire à une série de dépôts successifs et indépendants, répartis sur une épaisseur de 3 à 400 mètres de terrains sédimentaires.

La coupe du gisement de Bergsbogrufvan est instructive à cet égard (coupes 2, 3, 4, Pl. VII). Au mur, on a, d'abord, 4 à 5 mètres d'hématite schisteuse assez pure (à 0,10 ou 0,50 de phosphore), puis 20 mètres d'hématite cristalline à grain fin tenant 1 p. 100 de phosphore; celle-ci se charge de plus en plus de magnétite; puis vient la magnétite proprement dite, qui, vers son toit, arrive à tenir jusqu'à 6 p. 100 de phosphore.

Cette accentuation de la teneur en phosphore coïncide donc là, pour une cause ou pour une autre, avec le passage de l'oligiste à la magnétite. L'origine de ce dernier fait est elle-même difficile à démêler, et, tout en étant porté à admettre que cette différence doit tenir surtout à un inégal métamorphisme, on ne voit pas bien les causes de cette inégalité elle-même.

Il est cependant un phénomène, dont l'influence, à cet égard, est caractéristique et intéressante à signaler : c'est le rôle des filons de pegmatite, passant à des filons de quartz, qui, ici comme à Gellivara, comme dans la plupart des mines de fer suédoises, recoupent les minerais avec des directions et des inclinaisons diverses, parfois presque horizontales, en se bifurquant et ramifiant, ainsi qu'on peut le voir sur le plan.

---

démonstrative comme preuve d'une origine sédimentaire des minerais, me paraît, au contraire, bien plus facilement explicable par une imprégnation postérieure des schistes antérieurement froissés et pliés, pénétrés par les solutions aqueuses dans tous les interstices, entre leurs feuillets. Ce n'est pourtant pas une raison pour aller jusqu'à la considérer comme exclusive de la théorie sédimentaire.

Peut-être y a-t-il quelque relation entre ces roches e un massif de gneiss granitique (appelé granite par les Suédois), qui forme, à 20 ou 30 mètres à l'Est des gisements une bande à peu près interstratifiée sur plus de 1 kilomètr de long, où l'on trouve, paraît-il, des fragments de minerai et de leptynite englobés, ce qui indiquerait peut-êtr son éruptivité.

Ces filons de pegmatite et de quartz, par un phénomèn que j'ai retrouvé en divers points de la Scandinavie (Norberg, Ammeberg, etc.) et qui ne doit pas être sans rap port avec le caractère profond des gisements de ce pays contiennent fréquemment, au milieu de géodes, des hydrc carbures liquides ou solidifiés, composés de véritables bi tumes, entièrement solubles dans le chloroforme et renfer mant, ainsi que je m'en suis assuré par une analyse faite a Bureau d'essai de l'École des Mines, 1 p. 100 de soufre (*

En même temps, on y observe fréquemment, ici comm à Gellivara, de l'oligiste en grands cristaux, très différer de l'oligiste fin et souvent poudreux, qui constitue le gisement lui-même.

Quand on examine ces quartz au microscope, ils app raissent criblés d'inclusions liquides à bulle mobile, q représentent l'association ordinaire du chlorure de sodiu avec les hydrocarbures.

Il n'est pas douteux, quand on étudie les gisemen de Grängesberg, que ces filons ont exercé une acti réductrice sur l'oligiste encaissant, transformé à leur co tact en magnétite (**), et cette action me paraît, comme

(*) Certains géologues suédois ont donné de la présence de hydrocarbures une interprétation toute différente, en y voyant, contraire, *a priori*, le reste de matières organiques déposées avec sédiments et ultérieurement distillées ; je reviendrai bientôt sur ce question.

(**) Le fait est constaté dans la brochure publiée en 1898 par société de Grängesberg (p. 9) et a été vérifié à diverses reprises, cours des travaux, par le Dr Nauckhoff, ingénieur de la Compagnie, qu bien voulu me diriger dans la visite des gisements.

vais le dire, attribuable, non à une simple influence calorifique, mais aux hydrocarbures apportés par le filon.

Les faits se passent, par exemple, de la façon suivante, sur un de ces filons que j'ai spécialement examiné à Skärpningen. Le filon de pegmatite, large d'environ 1 mètre, renferme de l'oligiste en grands cristaux, avec des géodes pleines de bitume. A son contact, on a, sur $0^m,20$ de large, de la magnétite grenue en gros cristaux de 3 millimètres ; plus loin, sur $0^m,15$, de l'oligiste avec des cristaux de magnétite espacés, qui atteignent près de 1 centimètre ; au delà, de l'oligiste poudreux, ne contenant plus de la magnétite que suivant quelques plans de clivage, et l'on arrive ainsi à la masse d'oligiste proprement dite.

On observe de même, à Morgrufvan, que l'ensemble du minerai est en oligiste pur à 0,06 p. 100 de phosphore, sauf à la rencontre des pegmatites, où l'on a de la magnétite.

Une expérience synthétique, dont j'ai donné ailleurs le détail (*), m'a permis de reproduire cette réduction locale de l'oligiste en magnétite en faisant agir, sur de l'hématite pulvérisée, des vapeurs de pétrole sous pression à 250°. Je ne crois donc pas douteux que l'oligiste de ces filons de Grängesberg ait été réduit par des vapeurs hydrocarburées, apportées par des intrusions granulitiques. On peut se demander si, avec ces vapeurs carburées, d'autres fluorées n'auraient pas, en même temps, introduit dans le minerai la proportion anormale de phosphore, qu'il renferme lorsqu'il est à l'état de magnétite. C'est, en effet, un fait général à Grängesberg, que la pureté en phosphore des oligistes par rapport aux magnétites. D'autre part, on rencontre, bien qu'à titre exceptionnel, un peu de fluorine et même de béryl à Grängesberg (comme à Gellivara,

(*) *Comptes Rendus*, 11 février 1903 : Sur la réduction d'oligiste en magnétite par les hydrocarbures.

Tingvalls kulle) : minéraux cristallisés dans les granulites, ou tout au moins dus à leur intervention directe.

Quand nous discuterons cette question du phosphore, nous aurons à examiner le rôle possible des calcaires encaissants dans l'épuration des minerais. A Grängesberg comme à Gellivara, ce problème ne se pose pas, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des mines de la Suède Centrale ; le gneiss encaissant ne renferme pas, au moins sous sa forme actuelle, de bancs calcaires, et tout au plus pourrait-on remarquer que précisément ces deux mines, où le minerai n'apparait pas en contact avec du calcaire, sont, parmi tous les gites de fer sédimentaires suédois, les plus phosphoreuses.

Il résulte de cette absence générale de calcaires qu'on n'a pas non plus les minéraux qui résultent des actions ferrugineuses sur ceux-ci (grenat, épidote, etc.). Ceux-ci apparaissent uniquement tout à fait au Sud, vers Vattenflaskan, où il restait sans doute un peu de chaux dans les gneiss, et c'est là que l'on trouve aussi les minerais les plus purs du district à 0,023 p. 100 de phosphore.

J'ajoute seulement, comme particularité, qu'à Norra Hammar Grufve, on a trouvé du sphène et de la schéelite, avec un peu d'apophyllite à rapprocher des zéolithes de Selet à Gellivara. Les minerais phosphoreux de ce district semblent, d'après M. Beck, montrer l'ordre de cristallisation suivant : 1° apatite avec sphène abondant ; 2° hornblende et quartz assez rares ; 3° magnétite en gros grains et agrégats remplissant les interstices de la hornblende, tandis que de petits cristaux du même minerai sont englobés dans cette hornblende ; 4° fluorine.

C. **Nature des minerais** (*). — Les minerais de Grän-

(*) On peut trouver les renseignements industriels sur l'exploitation de Grängesberg dans une brochure publiée par la Compagnie en 1898. En 1899, on employait, pour une production de 800.000 tonnes, 1.800 ou-

gesberg appartiennent, comme je l'ai dit, à deux catégories tout à fait différentes :

1° Minerais d'exportation, formés surtout de magnétites à grain fin, avec une certaine proportion d'hématite au mur et constituant les grosses lentilles du toit du gisement ;

2° Minerais purs pour l'usage suédois, formés surtout d'hématite, avec faible mélange de magnétite, et constituant les bandes minces situées au mur du gisement. (Leur teneur en silice et alumine vient surtout de feldspaths intercalés.)

Voici des analyses moyennes de ces divers minerais :

	MINERAIS PHOSPHOREUX			MINERAIS PURS	
	Bergsbogrufvan hématite 1894	Bergsbogrufv. magnétite 1894	Bredjosbröttet magnétite 1894	Morgrufvan 1896	Vattenflaskan 1880
$_2O_3$.	73.50	9,13	—	59,95	66,65
$_3O_4$..	14,81 } Fe : 62.18	79,04 } Fe : 63,63	86.54 } Fe : 62,92	26,83 } Fe : 61,54	19,23 } Fe : 61,62
O ...	—	—	0,32	—	—
O...	0.04	0,10	0,13	0,03	0,35
gO...	0,82	2,72	1.69	0,29	0,94
O ...	5,00	3,61	3.50	0,59	2,13
$_2O_3$..	0.63	1,78	1,64	2.23	1,20
O_2...	1,62	2,00	4,82	10,26	8,32
$_2O_5$.	3.53 : Ph : 1.54	2,42 : Ph : 1.06	1.90	0,194 : Ph = 0,085	0,052 : Ph : 0,023
.....	traces	0,013	0.013	0,604	traces
	100,04	100,81	100,553	100.978	98.922

Ces minerais ne contiennent que de faibles traces de

vriers gagnant 4 fr. 50 à 5 fr. 50 par poste. On utilise la force d'une grande chute d'eau située à 12 kilomètres à Hell Sjön (600 chevaux), celle d'une autre à Lernbo, située à 28 kilomètres (2.800 chevaux) ; la transmission se fait : soit par l'antique système du Konster, c'est-à-dire par des files de poutres de bois, soit surtout par l'électricité. Un atelier de triage magnétique, installé en 1897, avec classement de grosseur et séparateur magnétique Wenström, permet de séparer la magnétite du stérile, pour environ 30.000 tonnes de minerai par an. Enfin les minerais sont transportés par rails au port d'Oxelösund (347 kilomètres, 5 fr. 65 par tonne), et, de là, embarqués : 100.000 tonnes pour Stettin (Haute-Silésie et Witkowitz); 550.000 tonnes pour Rotterdam (Westphalie) ; quelques milliers de tonnes pour l'Angleterre.

titane, bien qu'on trouve sur certains points, comme je l'ai dit, un peu de sphène.

Les minerais phosphoreux, tenant dans l'ensemble 1,50 p. 100 de phosphore, sont vendus en bloc, sans être divisés, comme à Gellivara, en une série de qualités A, B, C, D, E. On se contente de faire un triage à la main, suivi (pour environ 1/10 de la production) par un triage magnétique, que je décrirai plus loin.

NORBERG (WESTMANLAND) (*).

Les conditions du gisement sont, à Norberg, très analogues à celles que nous venons de rencontrer à Grängesberg et à Gellivara ; il n'y aurait donc pas lieu d'insister, si précisément, certains rapprochements, venant confirmer des observations antérieures, et, d'autre part, des discordances de détail, qui enlèvent à quelques faits leur caractère de généralité, n'étaient intéressants à signaler. Les mines de Norberg, exploitées depuis le XVIe siècle, ont été, d'ailleurs, pendant une trentaine d'années, jusque vers 1892, les principales de Suède. Leur production, qui était de 100.000 tonnes par an entre 1870 et 1879, est tombée à 64.000 en 1889, mais remontée à 136.000 entre 1891 et 1895 (**).

La région de Norberg est constituée par des alternances de leptynites et micaschistes (avec quelques bancs calcaires dans l'Ouest) : terrains plissés et, ce semble bien,

---

(*) J'ai donné autrefois une description de ce gisement, avec bibliographie, dans le *Traité des gîtes minéraux* (t. I, p. 708 à 713). — Voir surtout : la carte géologique de Törnebohm (1876-1881), et la brochure publiée en 1890 par G. Nordenström et A. Granström, pour la Société de Norberg-Riberg. — Comparer Beck (*Zeits. f. pr. Geol.*, 1899, p. 2, et diverses publications citées en notes).

(**) Les travaux, concentrés autour de Norberg et de Riberg, sont desservis par une ligne allant de Krylbo à Tillberga.

disloqués par un massif de granite rose sans mica(*), développé à l'Est. Un accident Nord-Sud, qui, vers Risberg, fait buter ce granite contre la tranche des terrains gneissiques coupés obliquement, est accompagné là par une accumulation toute spéciale de lentilles ferrugineuses : non pas sans doute qu'il y ait une relation de cause à effet entre le granite et la formation des oxydes de fer, mais plutôt parce que les couches ferrugineuses auront été là refoulées et accumulées sur elles-mêmes, ainsi qu'en témoignent, à Risberg, de nombreux plissements internes ; le développement des principaux amas serait donc, comme il nous a déjà semblé l'apercevoir à Gellivara et Grängesberg, le résultat d'un accident mécanique ayant refoulé et concentré, en la plissant, une couche plus ou moins longue, sur un seul point.

Les minerais, semblables à ceux des gisements précédents, sont à l'état de lentilles, variant entre 10 et 30 mètres de puissance et formées d'oxydes cristallisés.

On peut, comme le montre la carte ci-contre (*fig.* 21), apercevoir deux zones de minerais principales, qui s'étendent sur environ 9 kilomètres de long.

La première, celle de l'Est, qui peut comprendre deux ou trois couches parallèles, ainsi qu'on semble le reconnaître dans la région plus simple et plus régulière du Nord vers Kallmorberg, est intercalée dans les leptynites siliceuses et formée surtout d'hématites mêlées de magnétite à gangue quartzeuse, de minerais secs (torrsten malm). On la connaît particulièrement au voisinage immédiat du granite, à Risberg et Norberg.

Il existe cependant aussi, dans cette première zone (à Röberg, Getback, etc.), des minerais de magnétite, à

(*) Cette roche, désignée ici comme granite, est plutôt de la famille des granulites françaises, mais une granulite différant beaucoup, suivant une remarque précédente, de celles que nous avons en France, par cette absence de mica blanc.

gangue de skarn, que nous allons voir dominer tout à l'heure et qui paraissent indiquer la présence, ici aussi, de quelques anciens bancs calcaires métamorphisés.

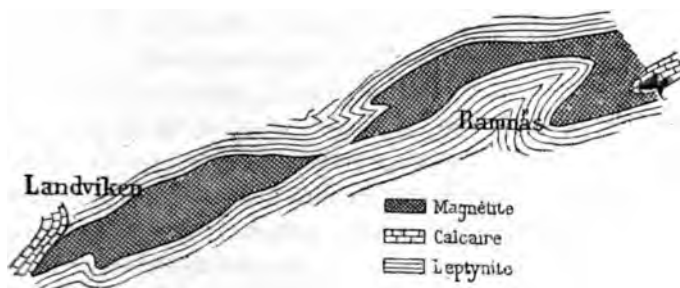


FIG. 22. — Plan des lentilles de magnétite dans l'ancienne mine de Kolningsberg, au niveau de 80. — Échelle au 1 : 1200.

La seconde, celle de l'Ouest, Klackberg, Kolningsberg (*fig.* 22), comprend des minerais également encaissés dans les leptynites, mais associés assez directement à des bancs de calcaire dolomitique et souvent accompagnés de lits graphiteux (Kolningsberg), qui arrivent, une dizaine de kilomètres au Sud de cette dernière mine, vers Halfvarsbenning, à former un véritable gisement de graphite. Par un phénomène trop constant pour être seulement accidentel, ces minerais en contact avec le calcaire sont presque exclusivement formés de magnétite (minerai noir, svart malm), avec une forte teneur en manganèse (10 p. 100), donnant lieu à des minerais manganésifères, tels que la knébélite, et jusqu'à 2 p. 100 de graphite. On y trouve, en même temps, par une loi également constante, des magnétites accompagnées par les minéraux divers que produit le métamorphisme des calcaires, tels que le pyroxène (souvent ouralitisé), la hornblende (passant à son tour à la chlorite), le grenat, l'épidote, etc. : en résumé, le skarn.

Il est difficile de préciser exactement le rôle du gr phite dans cette formation gneissique. J'ai, dans mémoire précédent(*), fait voir combien la question ét complexe et signalé les arguments, au moins spécieux, s lesquels on pouvait se fonder pour attribuer aux lits grap teux de Bohême et Bavière, situés dans des terrains cr tallophylliens analogues, une origine, non pas sédimentai comme on aurait pu le croire d'abord, mais peut-ê filonienne. Un fait en faveur de cette dernière hypothè nous est apporté par le gisement même de Norberg. J'ai, effet, trouvé, en divers points, près de la station de Kär grufvan, dans les leptynites et dans les minerais, de no breux filons de quartz pegmatoïde renfermant des géo pleines de bitume liquide et de grands cristaux d'oligis exactement comme ceux de Grängesberg, dont nc avons vu plus haut l'influence réductrice sur la magnéti Le fait est loin d'être exceptionnel. A. Helland a déc des masses d'anthracite dans les minerais de Mossgrul et Kilgrufva. On en retrouve, d'après Nordenström, dans curieux gisement argentifère de Kallmora, dont il sera un mot plus loin (**). Quelle que soit l'origine réelle, p ou moins superficielle ou plus ou moins profonde, de c hydrocarbures, en relation si vraisemblable avec les pegn tites, il est possible que leur déplacement au contact c

---

(*) *Annales des Mines*, janvier 1903.

(**) A. HELLAND, *Bergbeg, Anthracit og nogle andre kulholdige Mi ralier fra Ertsleiesteder og Granit gange* (*Geol. Fören. Förh.*, 1874, p. 513,. G. NORDENSTRÖM, *Mineralogiska notiser* (*Geol. Fören. Förh.*, t. n° 12, p. 340).

J'ai déjà cité un fait comparable à Grängesberg. On retrouve auss l'anthracite (insoluble dans le chloroforme) à Kongsberg. Il y a là phénomène spécial aux gisements de Scandinavie, ou plutôt des zo boréales. Je rappelle qu'on a quelquefois voulu l'interpréter par un mé morphisme exercé sur des matières organiques. La localisation o naire de ces hydrocarbures dans des filons ne semble guère en fav de cette dernière hypothèse.

minerais de fer ait amené la réduction de l'oligiste et produit, en même temps, le graphite.

Un autre fait très caractéristique, à Norberg comme à Grängesberg, est la présence locale de quelques-unes de ces brèches, que nous venons de trouver si développées dans cette dernière mine : brèches, où des veines de pegmatite et de hornblende, ou d'épidote parfois grenatifère, enveloppent des noyaux de magnétite et de leptynite. Ici encore, la granulite est certainement postérieure à la formation du minerai et le recoupe en filons. On peut remarquer, dans le même ordre d'idées, que des diabases traversent également le gîte.

Je donne ci-dessous quelques analyses moyennes de minerais. D'après ces analyses, la teneur en phosphore, généralement faible, est plus élevée dans les minerais à hématite que dans les magnétites. C'est le contraire de ce que nous avons observé à Grängesberg, où le calcaire paraissait faire absolument défaut et où nous avons supposé que la réduction de l'oligiste en magnétite avait pu être accompagnée d'une introduction de phosphore par des vapeurs accompagnant des hydrocarbures. Ici nous pouvons imaginer une déphosphoration résultant de la gangue calcaire.

	I	II	III		
	Minerai sec Risberg	Minerai à gangue de skarn Asgrufvan	Minerai de 1re qualité Klackberg (Gröndal)	Minerai dur de 1re qualité Storgrufvan	Minerai dur de 1re qualité Granrot
Fe^2O^3	35,71	3.57	65.05	»	
Fe^3O^4	33,15	63,80	4.24	62.35	54.90
FeO				6.88	7.39
MnO	0.15	0,23	3,81	5.03	5.55
MgO	0.43	5,26	5,25	5.00	5,98
CaO	6.20	8,60	3,60	3.60	5.40
Al^2O^3	0,50	0.16	1,40	0,82	0,84
SiO^2	21,80	18.60	6,60	2,60	3,10
Ph^2O^5	0,061	0.009	0.006	0,004	0,004
Soufre	0,008	0.45	0.137	0,025	0,014
Cuivre	traces	traces	0.02	0,01	0,005
Perte à la calcination (acide carbonique et eau)	»	»	9.50	13	16.60

On peut remarquer, en passant du minerai I aux minei II et III, sous l'influence d'une réaction calcaire] accentuée, le sesquioxyde de fer faisant place à l'oxyd et le manganèse augmentant, tandis que la silice, le pł phore et le soufre sont peu à peu éliminés.

Les traces de cuivre dans les minerais secs correspond à un peu de pyrite cuivreuse, qui existe ici, de même c Grängesberg, Gellivara, Svappavara, etc., mais en quant très faibles. Il est plus curieux de signaler, au voisinage granite, un vrai gîte de sulfures métallifères (galène, et qui présente des apparences d'interstratification. N allons retrouver l'analogue à Dannemora et, sans doı on est en droit de supposer une introduction postérie amenée par le granite ; mais ne peut-on également voiı un indice en petit du phénomène de dépôts sulfurés à all sédimentaire, qui, dans les mêmes couches gneissique: dans le même pays, caractérise le gîte d'Ammeberg? fait, en tout cas, est assez curieux pour valoir une cou description, que j'emprunterai à M. Beck de Freiberg

D'après ce géologue, on a, à Kallmora, un minerai fer encaissé dans un gneiss à biotite, avec gangue de sk (pyroxène clair, un peu de hornblende, grenat, cordiér: magnétite, etc.). Les sulfures métallifères se serai introduits après coup dans ce skarn disloqué, dont ils globent les éléments émiettés, grenat et magnétite, d'ı façon assez intime. Ils comprennent de la galène à 0,(p. 100 d'argent, avec un peu de pyrite cuivreuse, mispickel, de fluorine blanche ou violette. Il y aurait là ı sorte de formation filonienne, ayant pris la forme d filon-couche, reliée aux dislocations et brèches, marquent précisément, en général, la zone de ska Entre 1891 et 1895, on a extrait de ce gisement, par environ 7.000 tonnes de galène.

(*) Beck (*Zeits. f. pr. Geol.*, 1899, p. 4).

PERSBERG (WÆRMLAND) (*).

La mine de Persberg, exploitée, comme Norberg, depuis le milieu du XIVe siècle, a été longtemps la première mine de fer en Suède. De 1870 à 1890, elle est restée la seconde (après Norberg), avec une production de 40 à 50.000 tonnes; de 1891 à 1895, on a extrait, en moyenne, 31.884 tonnes par an.

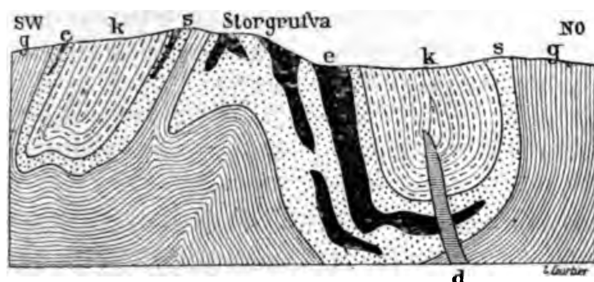


Fig. 23. — Coupe de la Storgrufva à Persberg, d'après M. Beck.
g, gneiss à biotite finement grenu. — k, calcaire et dolomite. — s, skarn. e, minerai de fer. — d, diorite.

Comme à Norberg, on trouve, au milieu des gneiss et des leptynites (hälleflints), des lits calcaires, avec lesquels le minerai, accompagné de skarn (grenat, pyroxène et épidote), est généralement en relation (*fig.* 23). Les lentilles de minerai verticales, épaisses au maximum de 50 mètres, sont réparties sur environ 9 kilomètres de long. La magnétite y domine à peu près exclusivement, avec une proportion variable d'hématite. La teneur en manganèse va de 0,20 à 0,35 p. 100; celle en phosphore ne dépasse pas 0,013. La coupe met bien en évidence les

(*) 1874. Törnebohm, *Karta öfver Berggrunden inom Filipstads Bergslag*; 1875. *Geognostik Beskrifning ofver Persbergets Grufvefält* (avec carte); 1897. Walf. Petersson, *Högbergs fället vid Persberg*; 1899. Beck (*Zeits. f. prak. Geol.*, p. 4).

plissements subis par les couches en coupe transversa[le].
En plan horizontal, Walf. Petersson a cru remarquer, co[n]formément à une observation faite plus haut à Gelliva[ra] et à Grängesberg, que les amas se trouvaient surtout au[x] points d'inflexion des couches. Nous avons vu quel[le] explication on pouvait en donner.

On peut encore signaler, dans le minerai, des veines généralement parallèles à la direction et dues à un phénomène de dislocation mécanique : veines remplies de débris avec chlorite et serpentine, que l'on retrouve dans les divers gisements de Suède et que les Suédois désignen[t] sous le nom de *sköl*.

DANNEMORA (UPSALA) (*).

Quand on examine la carte géologique de la région de Dannemora, donnée par M. Törnebohm (Pl. VIII, *fig.* 1), on y remarque, d'abord, une zone sinueuse de roches cristallophylliennes, qualifiées de hälleflints (porphyroïdes ou schisteux) et d'eurites (ou plutôt de leptynites) (**), avec bancs calcaires associés, qui viennent s'intercaler entre les granites à l'Ouest et les granites gneissiques d'Upsal[a] à l'Est (***). Dans toute la région de Dannemora, cette zone est N. 10° E. et les couches y offrent, le plus souvent, un plongement Est, tout en étant très redressées. Vers le Sud, cette zone se recourbe presque à angle droit et devient Est-Ouest, avec plongement Nord, en se dirigeant vers Ramhälls.

(*) Voir la description donnée dans le *Traité des gîtes minéraux* (I, p. 714 à 718), et la bibliographie annexée, surtout la description de Törnebohm en 1878, avec atlas de planches.

(**) Je reviendrai bientôt sur la définition de ces roches. En France, nous réservons le nom d'eurites pour des granulites compactes, généralement en filons minces.

(***) Il existe, en outre, des massifs de diorite, souvent quartzifères, dont il serait intéressant d'étudier la relation d'origine avec les calcaires.

A l'exception du gisement isolé de Stenring, en relation avec une traînée de leptynites et de calcaires, qui réapparaissent dans le granite gneissique, tous les minerais de fer sont dans cette zone ; les principaux d'entre eux, ceux de Dannemora, sont intercalés et interstratifiés dans les lentilles calcaires; les autres, ceux de Persbo, Slesby ou Ramhälls, sont dans les hälleflints et dans les leptynites. Nous retrouvons donc là la diversité des roches encaissantes, qui existe à Gellivara ou Norberg et qui ne laisse pas d'être assez singulière avec de semblables gisements sédimentaires, mais s'explique peut-être par les intercalations calcaires, dont nous allons parler, dans les leptynites.

D'après la description de M. Törnebohm, les roches, qu'il appelle eurites et qui, dans notre nomenclature, correspondraient plutôt à des leptynites, sont des roches rouges compactes, nettement rayées, parfois avec de minces intercalations calcaires. Vers le Sud de Ramhälls, elles ont des nuances variées et passent à des gneiss, après lesquels on retrouve des roches grises zonées avec délits rouges. C'est dans ces leptynites rouges que se trouvent les minerais de Ramhälls. Les roches encaissantes sont, là, à grain très fin, zonées ou rayées. Les minerais y sont nettement interstratifiés, formés, dans le nord, d'hématites schisteuses, qui alternent, par endroits, avec ces leptynites mêlées d'un peu de skarn, et, dans le sud, de magnétite, développée, suivant une loi tout au moins bien fréquente, au contact de calcaire grenu, qui forme l'éponte du gisement. En même temps, il apparaît un peu d'amphibole.

A Stenring, on retrouve de même de la magnétite, avec un skarn de grenat et de pyroxène, sur une traînée de leptynites, accompagnée d'un peu de calcaire grenu au mur, et cette zone se poursuit à l'Est, vers Flymyra.

Les hälleflints (porphyroïdes ou schisteux), qui dominent dans la zone Nord-Sud, ont bien des chances

pour n'être que des faciès diversement métamorphisés (mêmes strates, avec lesquelles ils semblent former seul ensemble tectonique. Ce sont des roches pétros ceuses, tantôt porphyroïdes, tantôt fissiles, et divisées] des plans de mica et de chlorite, principalement form d'une très fine marqueterie de quartz, avec un peu feldspath, de mica et quelques grains de quartz ou d'am] bole plus gros, parfois des aiguilles de tourmaline; l couleur varie du gris au brun, au brun rouge, ou au rou On pourrait même se demander, comme je le dirai, hälleflints et leptynites ne seraient pas le produit d' silicification exercée sur des bancs de calcaire, dont quelq parties seraient restées intactes, dans des conditions l'on a cru apercevoir pour certains gisements des Ét Unis, par exemple à Vermilion Range, dans le district Lac Supérieur : ce qui expliquerait l'association très o naire de ce genre de roches avec des amphibolites ou diorites, elles-mêmes attribuables à une réaction sur calcaires, et rendrait compte, en même temps, de la di sité apparente des terrains, où se trouvent les minerais fer, sur une zone sédimentaire, qui a bien des chances] avoir été, au début, à peu près homogène.

La zone ferrifère proprement dite de Dannemora, in calée au milieu des hälleflints, dans les calcaires alternent avec des minerais et en contact, sur sa p Sud, avec ces hälleflints mêmes, est formée de lent de magnétite à peu près verticales, avec léger plor ment Ouest. Elle occupe une longueur d'environ 2 k mètres sur une largeur de 200 mètres (Pl. VIII, *fig* tantôt visible dans les anciennes tranchées à ciel ou qui la jalonnent, tantôt seulement soupçonnée par observations magnétiques.

Le minerai y est toujours formé de magnétite fin compacte, encaissée, soit directement dans le calcaire, dans une brèche avec skarn (grenat, amphibole, acti

manganésifère ou dannemorite, pyroxène), analogue à celle que nous avons trouvée dans les autres gisements suédois. L'hématite fait défaut. Cette magnétite, comme le montrent des analyses données plus loin, est toujours remarquablement pure en phosphore et assez notablement manganésifère, mais contient des traces sensibles de sulfures, que l'on élimine par un grillage.

Le calcaire lui-même est quelquefois très pur. Ailleurs, comme à Myrgrufvan, il contient 21 p. 100 de carbonate de magnésie, 18 de carbonate de fer, 6 de protoxyde de manganèse.

Une particularité de ce gite, qui le distingue assez nettement des précédents, est l'abondance des divers filons éruptifs, qui l'ont recoupé en y occasionnant souvent des rejets, bien visibles sur les coupes transversales : filons de microgranulite, de porphyre pétrosiliceux et de porphyrite (augitique et amphibolique), les uns à peu près parallèles à la direction des couches, les autres à peu près Nord-Sud. Il semble y avoir là, par conséquent, en outre des granulites que nous sommes habitués à rencontrer dans ces gites suédois, une série plus récente, ou peut-être plus voisine de la superficie, analogue à celle qui, en France, marque l'époque carbonifère.

Il faut également signaler, comme un phénomène remarquable, une abondante venue de sulfures métallifères (pyrite, blende, galène, avec un peu de cobalt, de pyrrhotine et de mispickel) que l'on observe, tout à fait au Sud des gisements, à l'endroit dit Svafvelgrufvan (mine sulfureuse). En ce point, la zone ferrifère, à peu près Nord-Sud, est interrompue par un système N.O.-S.E., qui comprend : d'abord, sur 10 ou 15 mètres, ces sulfures ; puis des diorites, qui traversent les sulfures en filons, tronçonnés par segments ; encore des sulfures et du porphyre pétrosiliceux. La magnétite, au voisinage, est assez fortement imprégnée des mêmes sulfures. Il est assez logique de

supposer, comme on l'a admis, qu'il y a eu là une venu postérieure aux minerais, en relation avec ces filons érup tifs. On s'est demandé si les traces de pyrite, observée ailleurs dans la magnétite, n'auraient pas elles-même été produites par des filons analogues, au voisinage desquel elles semblent souvent augmenter. Ce gisement a produi un moment, jusqu'à 2.000 tonnes de blende par an. Ver 1895, on était tombé à 400 tonnes.

Enfin, la mine de Dannemora est remarquable par le divers minéraux manganésifères, que l'on y rencontre dannemorite (actinote), knébelite (péridot), pyrosmalit (chlorosilicate de fer et de manganèse).

Ainsi que le montrent les coupes, la venue métallifèr n'occupe pas une couche unique, mais se divise partou en deux ou trois bancs parallèles séparés par des lits ca caires, que recoupent et rejettent de nombreux accident: L'analyse moyenne des minerais donne :

	GROUPE du Nord	GROUPE du Centre	GROUPE du Sud
Fe^3O^4	65,86 (fer : 48.80)	71.25 (fer : 52.44)	72.25 (fer : 53.49)
FeO	1,45	0,71	1.50
MnO	0,89	2.23	2,05
MgO	4.54	5.66	4.14
CaO	7.62	5,20	5.50
Al^2O^3	1.08	1.49	2.60
SiO^2	15.32	9.30	8.90
Ph^2O^5	0,002	0.005	0.009
S	0.171	0.027	0,038
Perte à la calcination	2.80	3	1.80
	99.733	98,872	98,787

GISEMENTS DE LA COTE D'ARENDAL (NORVÈGE MÉRIDIONALE) (*).

Les gisements de la côte d'Arendal, autrefois décrits par Kjerulf et Teleef Dahl et, d'après eux, par Ed. Fuchs, comme filoniens, rentrent tout à fait dans le type des intercalations sédimentaires au milieu du cristallophyllien, que nous étudions en ce moment. Ils occupent environ 25 kilomètres de long au voisinage de la côte (mines de Næskälen, Hvideberg, Langsev et Vas, Tromö, Klodeberg, etc.). On les trouve dans un gneiss à mica noir avec intercalations de calcaires, amphibolites et quartzites, sous la forme de lentilles de magnétite, ayant 90 à 200 mètres de long sur 2 à 20 mètres de large, généralement accompagnées d'une gangue de skarn (grenat, augite vert clair, épidote et calcite). Les filons de pegmatite, qui recoupent ces gîtes comme tous les précédents, sont souvent riches en minéraux, parmi lesquels des minéraux rares.

Il existe, d'ailleurs, sur la côte d'Arendal, d'autres gisements, précédemment décrits, qu'il ne faut pas confondre avec ceux-là, notamment ceux de Langö, considérés par Vogt comme des ségrégations d'une olivine à hypérite.

GISEMENTS DU DUNDERLAND, ETC. (NORVÈGE SEPTENTRIONALE).

Les gisements de fer cristallins, interstratifiés dans les terrains primitifs, sont nombreux en Suède, et il serait facile d'en multiplier les exemples. Mais ceux qui viennent d'être étudiés, les principaux par leur importance indus-

(*) Voir bibliographie dans le *Traité des gîtes minéraux* (I, p. 659), notamment le travail de Kjerulf et Dahl (1861), traduit par Fuchs (*Ann. des Mines*, 6e série, t. IX, p. 269).

trielle, suffisent, je crois, pour nous fixer sur le allure et leur formation. J'ajouterai seulement quelqu mots encore sur un groupe de gîtes analogues, situés da la Norvège Septentrionale, qui présentent, pour nous, c intérêt d'être intercalés, non plus dans des couches cri tallines d'âge problématique, mais dans du silurien pr prement dit et, par conséquent, dans des conditions dépôt sédimentaire mieux définies.

Dans ces régions Nord de la Norvège, l'attention d industriels a été récemment attirée sur une importa zone de gisements ferrugineux à faible teneur sensiblement phosphoreux, que les procédés de séparati magnétique Edison permettent aujourd'hui de trai avantageusement (*). D'après M. Vogt, ces gisements n veaux commenceront, en 1905, à exporter 750.000 tonn par an.

Cette zone de 400 kilomètres de long, située envir sur le cercle polaire, entre 65 et 69° de latitude, commen au Sud du glacier de Svartisen, sur le Ranenfjord (El fjord au Sud du Ranenfjord; îles de Dönnesö et Tom son embouchure; Mo et Dunderlandsdal au fond d fjord); on la retrouve au Nord du glacier, près de Beieren, à Skjœrstad (sur le Saltenfjord), puis sur les deux rives de l'Ofot-fjord, où aboutit la nouvelle ligne de la Baltique à l'Atlantique, et, enfin, à Salangen, dans le Sud du cercle de Tromsö (environ 69° N.). Les tentatives d'exploitation ont surtout porté sur les gîtes du Dunderlandsdal, à peu près sur le cercle polaire.

Tous ces gisements, analogues entre eux, sont intercalés dans cette longue bande de terrains métamorphiques à

(*) Voir une description de M. Vogt avec cartes et coupes (*Zeits. f. pr. Geol.*, janv. et févr. 1903), avec renvoi aux publications antérieures du même auteur; notamment: *Salten og Ranen*, 1890; — *Dunderlandsdalens jernmalmfelt*, 1894 (avec carte géologique); — *Det Nordlige Norges malmforekomster og bergverksdrift*, 1902.

faciès cristallin, que la découverte de quelques fossiles à Trondhjem, Sulitelma, etc., conduit à regarder comme un synclinal cambro-silurien, très anciennement plissé. D'après les recherches de M. Vogt, il y a là trois termes principaux : 1° à la base, un complexe de schistes micacés avec marbres et niveau supérieur de minerai de fer; 2° au-dessus, un gneiss plus jeune, en concordance avec le niveau ferrugineux précédent et passant, par transitions insensibles, aux schistes micacés inférieurs; 3° les schistes de Sulitelma.

Les minerais de fer semblent bien correspondre à un groupe de couches sédimentaires métamorphisées. Ils se présentent en niveaux lenticulaires, qui ont souvent 1 à 2 kilomètres de long, parfois jusqu'à 5 et 8 kilomètres, avec une largeur moyenne de 3 à 10 mètres, rarement (Dunderlandsdal) 30 à 60, exceptionnellement jusqu'à 100 mètres. Ces lentilles se trouvent dans la partie supérieure des schistes micacés à niveaux de marbres, dans le voisinage de bancs de marbre ou de dolomites, dont ils sont pourtant toujours (sauf dans une seule exception) séparés par une couche de schistes micacés de 1 à 10 mètres; la limite entre les minerais et les schistes est généralement nette (*), et, d'après M. Vogt, l'ensemble des conditions de dépôt très régulières exclut l'hypothèse d'anciens phénomènes de substitution (métasomatisme) sur des calcaires, pour faire admettre une simple précipitation sédimentaire, comme dans les fers des marais, ou dans les couches marines secondaires et tertiaires.

Le minerai est un mélange de quartz, oligiste, magné-

(*) Les niveaux de minerais de fer siluriens, c'est-à-dire à peu près du même âge, sont nombreux dans des régions où le métamorphisme a joué un rôle moins actif. Il suffit de citer, en France, la région de Segré et Angers, celle de Saint-Rémy dans le Calvados, Krivoïrog en Russie, Nucic en Bohême, la Pensylvanie, etc.

tite, avec du grenat, de l'épidote et, plus accessoirem de la hornblende, du pyroxène, un peu de mica o feldspath, c'est-à-dire une sorte de quartzite ferrugin passant progressivement aux quartzites pauvres re dés comme stériles et parfois assimilable aux itabi du Brésil.

En raison de la forte teneur en silice, la propo de fer n'est guère que de 30 à 40 p. 100, quoiqu puisse localement atteindre 55. Ce fer est surtout à l d'oligiste, qui est environ dix fois plus abondant qu magnétite. On trouve, en même temps, une teneur en ganèse très variable (en partie, à l'état de magn manganésifère) : teneur presque insignifiante dans le arrivant souvent à 3 ou 5 p. 100 dans certains gîte Nord (Ofoten et Salangen).

Comme impuretés, le phosphore est dans une propo moyenne de 0,2 p. 100. Il se présente en apatite, po plus grande partie dans le quartz, ce qui facilite sa ration magnétique. Le soufre est très peu abon (0,01 à 0,025 p. 100); le titane fait défaut.

CHAPITRE IV.

LE ROLE DU PHOSPHORE DANS LES MINERAIS DE F SCANDINAVES (*).

Parmi les éléments associés normalement au fer, des plus habituels et le plus important peut-être à c dérer d'un point de vue industriel est le phospl

(*) Il y aurait lieu également d'étudier spécialement le rôle du dans ces minerais; je rappelle que cette partie du sujet a dé traitée ici même (janvier 1903). Je dirai tout à l'heure quelques des autres substances accessoires moins importantes, que renfe les gîtes de fer.

Ce n'est pas ici le lieu d'étudier dans sa généralité la question si intéressante des associations minéralogiques entre le fer et le phosphore, que je me propose de développer dans un ouvrage en préparation sur la *Géologie chimique* (ou interprétation chimique des phénomènes géologiques) ; mais il convient tout au moins de traiter, avec quelques détails, la question spéciale des minerais de fer phosphoreux scandinaves, en ajoutant, aux indications déjà données incidemment dans les monographies précédents, des renseignements complémentaires, notamment sur certains gisements filoniens, où l'apatite domine parfois presque à l'exclusion du fer, et tirant, autant que possible, les conclusions de l'ensemble des faits observés.

Si l'on examine une série d'analyses de minerais de fer scandinaves, pour y chercher la teneur en acide phosphorique (*) — teneur qui est toujours particulièrement bien dosée à cause de son importance pratique — on ne peut manquer d'être frappé de l'extrême irrégularité de cette teneur. Les variations vont, on peut le dire, sans sortir des gisements de fer exploités, de 0 à 100 p. 100 de phosphate, puisqu'il existe : d'une part, des minerais absolument purs en phosphore et, de l'autre, des masses d'apatite au cœur même des grands amas ferrugineux de Laponie.

Cherche-t-on les causes de ces variations, on désespère d'abord de les trouver, et il est probable qu'en effet il faut faire une grande part à des circonstances tout à fait accidentelles, qui nous échappent ; néanmoins, en s'éclairant par la comparaison avec les autres gisements de fer dans le monde, on arrive, ainsi que nous le verrons tout à l'heure dans les conclusions de ce chapitre, à démêler certaines influences d'ordre général, qui pa-

(*) On sait que l'on passe de la teneur en phosphore à la teneur en acide phosphorique en multipliant par 2,29 ; de l'acide phosphorique au phosphate de chaux en multipliant par 2,18 ; ou, inversement, du phosphate à l'acide phosphorique en multipliant par 0,458, de l'acide phosphorique au phosphore en multipliant par 0,436.

raissent avoir exercé, à cet égard, une action, soit en chissante, soit appauvrissante, sur les minerais.

Parmi les influences enrichissantes en phosphore, citerai de suite l'intervention des venues granulitique parmi les influences épurantes, le contact de bancs c caires ou dolomitiques avec des minerais métamorphis et l'altération superficielle. Ces deux dernières réactio tendent, en même temps, à accroître la proportion relati de manganèse.

A propos des altérations superficielles, on peut rema quer que les minerais oxydés de fer, dus à une transfo mation de sulfures dans les parties hautes des filons amas, sont habituellement pauvres en phosphore ; d'un façon générale, les gisements de fer sulfuré filoniens qu'ils soient ou non altérés en sidérose ou en hématite, semblent d'ailleurs renfermer peu de phosphate. La ségrégation profonde des minerais de fer titané a également abouti, dans la plupart des cas, à une épuration en phosphore.

La question des phosphates norvégiens, associés ou non au fer, a été spécialement étudiée dans la région d'Oddegaarden, où les exploitations de cette substance ont eu, pendant une vingtaine d'années, à partir de 1872, une réelle importance, et dans celle de Gellivara, vers 1890 à 1892(*) ; on avait supposé, pendant cette dernière période, que l'on pourrait peut-être trouver en Laponie des mines d'apatite d'une sérieuse valeur industrielle ; en réalité, l'apatite n'a pu être utilisée dans ce district qu'à l'état de produit secondaire dans l'exploitation du fer, après en

---

(*) *Sveriges geologiska Undersökning* (série C, nos 113, 126, 127). Travaux d'Otto Torell, Fred. Svenonius et Hjalmar Lundbohm ; ce dernier, qui renferme les conclusions, intitulé : *Apatit förekomster i Norrbottens Malmberg*. Voir, en outre, divers travaux de G. Löfstrand, W. C. Brögger, H. v. Post, etc. — M. H. Vogt a résumé ce qui est relatif à l'ensemble des apatites norvégiennes (avec bibliographie antérieure) dans la *Zeitschrift für praktische Geologie*, 1895, p. 367 à 370, 444 à 459, 465 à 470.

avoir été séparée par une préparation électro-magnétique, dont il sera dit quelques mots plus loin, et les seules apatites de Scandinavie qui aient valu pour elles-mêmes une extraction (d'ailleurs interrompue aujourd'hui) sont celles de la côte Sud, vers Bamle et Kragerö, à l'autre extrémité du pays. L'enquête, qui fut faite il y a une dizaine d'années, à Gellivara, a néanmoins mis en lumière un certain nombre d'observations géologiques fort intéressantes.

Les apatites scandinaves se présentent dans trois conditions de gisement bien distinctes, au moins en apparence : 1° dans les gabbros; 2° dans les pegmatites ou granulites; 3° dans les minerais de fer, et les gangues de skarn qui les accompagnent. Peut-être, comme nous allons le dire, existe-t-il entre ces trois types, en apparence tout à fait distincts, une certaine relation et l'influence des minéralisateurs chlorurés, dont on trouve ou soupçonne la trace dans les filons phosphatés des gabbros comme dans les pegmatites, a-t-elle également joué un rôle, plus hypothéthique, dans la cristallisation du phosphore au milieu des minerais de fer.

1° **Apatite dans les gabbros.** — En premier lieu, il existe un certain nombre de gisements rattachés à des gabbros, soit dans le Sud de la Norvège, vers Oddegaarden (Bamle), etc., où ils ont été particulièrement étudiés, soit autour de Gellivara : gisements, avec lesquels ceux du Canada semblent présenter quelque analogie.

Les caractères de ces gisements, qui ne se rattachent, il est vrai, qu'indirectement à notre sujet spécial, mais peuvent contribuer à nous guider dans notre étude, sont les suivants.

L'apatite s'y présente en filons irréguliers, ou stockwerks, comparables aux gites stannifères, soit dans le massif même du gabbro, qui est ordinairement une hypérite

à olivine à structure granitique (*); soit, à son voisina
immédiat, dans les schistes archéens.

L'apatite y est toujours un chloro-phosphate et non
fluo-phosphate (teneurs en chlore atteignant 5,08 p. 10
contrairement à la plupart des autres apatites, notamme
celles du Canada, où le fluor l'emporte toujours de be
coup sur le chlore, et à celles des filons d'étain, qui s
presque exclusivement fluorées; en même temps, la fl
rine et les minéraux fluorés, topaze, béryl, etc., paraiss
faire défaut à Oddegaarden. Cette apatite renferme s
vent, en outre, un peu de carbure. On a reconnu la pr
sence de traces de cérium, lanthane, didyme, yttrium,
Midbö et Snarum.

Dans les filons d'apatite, il existe divers silicat
magnésiens, tels que l'enstatite (très abondante), l
hornblende, le mica magnésien, qui arrivent à former ave

(*) Les gabbros norvégiens comprennent, comme je l'ai déjà rappelé, deux groupes principaux : *A*) gabbros (ou hypérites) à olivine, composés d'olivine, diallage et plagioclase ; *B*) norites, formées de pyroxène rhombique et plagioclase. Ces dernières roches renferment les ségrégations de pyrrhotine nickélifère : les premières, les filons d'apatite. Les deux types de roches sont souvent très voisins les uns des autres. Leur intrusion atteint les dernières couches archéennes, mais non le silurien de Kristiania. Ils seraient donc, en majeure partie, postérieurs aux minerais de fer sédimentaires archéens.

Le groupe des apatites du Sud de la Norvège, étudié par Vogt, occupe environ 110 kilomètres de long et 25 kilomètres de large, entre Langesund (Bamle) et Lillesand, et comprend 40 ou 50 massifs de gabbro, qui occupent à peu près 1/80e de la superficie totale. Ce géologue y cite les gîtes de Bamle (Oddegaarden), Langö et Gomö, Kragerö, Risör, Tvedestrand, Froland, Grimstad, tous dans ces gabbros (hypérites à olivine), ou à 2 ou 300 mètres au plus de leur limite. A Langö, il existe, notamment, des filons d'albite à oligiste et d'autres d'apatite, rutile, fer titané, oligiste, se rattachant aux premiers.

La même association se retrouve dans les deux petits districts isolés de Snarum (50 kilomètres O. de Kristiania) et Nissedal (100 kilomètres N. de Arendal en Telemark). A Oddegaarden, on a pu sortir, depuis la découverte du gîte en 1872, environ 120.000 tonnes d'apatite sur un total estimé en chiffres ronds à 200.000 tonnes; à Kragerö, entre 1854 et 1858, on en a retiré 5.000 tonnes : à Risör, depuis 1870, on a produit quelques centaines de tonnes.

l'apatite une véritable roche, parfois aussi un phosphate de magnésie fluoré) variété Kjérulfine).

Le titane est presque constant dans ces mêmes filons, à l'état de rutile, fer titané, rarement pseudobrookite et anatase.

La magnétite est assez fréquente, l'oligiste plus rare ; la pyrite, parfois nickélifère, et la chalcopyrite existent souvent.

Il est à remarquer que les individus cristallins des filons d'apatite, aussi bien l'apatite elle-même que l'enstatite, la hornblende, le mica, le rutile, etc., sont, dans bien des cas, de dimensions extraordinaires : caractère que l'on retrouve dans la plupart des filons de granulite et de pegmatite, avec lesquels ceux-ci ont une relation possible, et qui peut difficilement s'interpréter autrement que par une cristallisation lente et tranquille, en présence de minéralisateurs énergiques. Les filons offrent une structure concrétionnée et souvent zonée, bien que les druses aient passé longtemps pour y faire défaut et soient, en définitive, plutôt exceptionnelles. D'après Vogt, ceux qui sont encaissés dans les terrains archéens renferment souvent du quartz, qui manque habituellement dans les filons au milieu du gabbro : ce qui ne pourrait s'expliquer que par un emprunt fait, dans le premier cas, aux roches encaissantes.

Enfin, un fait tout particulièrement intéressant pour la genèse des filons d'apatite, que M. Michel Lévy a été le premier a reconnaître (*), est la transformation ordinaire qu'ont subie, au contact, les plagioclases des gabbros, devenus de la wernérite (skapolithe), c'est-à-dire, en résumé, imprégnés de chlorure de sodium adventif, parfois

(*) *Sur une roche à sphène, amphibole et wernérite granulitique des mines d'apatite de Bamle* (*Bull. Soc. Min.*, 1879). — Voir aussi Lacroix, *Contributions à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à wernérite* (*ibid.*, 1889) ; — et J.-W. Judd (*Min. Mag.*, t. VIII, 1891).

avec un peu de chlorure de calcium (à peu pr
3 p. 100 de chlore) (*).

Il semble donc que ces filons d'apatite constit
partir des gabbros, un départ analogue à celui que
serve, pour l'étain, à partir des granites à muscovi
part amené sous l'influence, tantôt de chlorures, co
Norvège, tantôt, ailleurs, de chloro-fluorures, ou
ment de fluorures. La richesse spéciale en filons
phatés de certains champs de gabbros tiendrait
tout, à l'abondance particulière de ces fumerolle
ailleurs, auraient manqué pour extraire et concentre
lement le phosphore, dispersé de même dans la
entière du gabbro (**).

J'ajoute que ce départ, exécuté dans un stade pos
à l'intrusion même et probablement à la cristal
des gabbros, me paraît avoir une relation avec la p
des granulites, qui recoupent ces roches : relat
rapproche un peu plus encore l'apatite du groupe
fère et correspond avec la présence si fréquente
tite, soit dans les granulites, soit dans les filons
eux-mêmes ; en même temps, on explique ainsi co
la venue d'apatite dans le gabbro se traduit par
port de chlorures, qu'il semble difficile de s
directement empruntés au gabbro lui-même (où ce
rures n'apparaissent plus à l'état normal), du moi
intermédiaire profond.

(*) Comme terme de comparaison, au Canada, les apatite
tachent à une pyroxénite, qui paraît être, d'après les dernières
tions, une forme métamorphisée de gabbro intrusif, mais pl
avec orthose et quartz. L'apatite y est également associée
minéraux titanés, mais en moindre proportion ; en revanche,
est plus abondant ; les éléments magnésiens ne jouent qu'un
à fait subordonné ; la wernérisation existe au contact, mais
échelle moindre ; enfin le fluor intervient au lieu du chlore.

(**) Des calculs de Vogt (*Zeits. f. pr. Geol.*, 1895, p. 459) semblent
que la proportion totale d'acide phosphorique dans le gabbro
gaarden (environ 0,55 p. 100) n'est pas supérieure à celle
peut constater dans d'autres gabbros.

J'ai été frappé, à Oddegaarden, de voir comment les apatites, tantôt recoupent les granulites, tantôt sont recoupées par elles (*), ce qui suppose les deux formations phosphatées et granulitiques à peu près du même temps, et l'on retrouve des phénomènes analogues pour les apatites traversant les minerais de fer de la Laponie.

Les observations, faites en 1890-1892 dans la région de Gellivara-Dundret, confirment, bien que sur une échelle moindre, les remarques précédentes. Là aussi, l'apatite, associée aux mêmes minéraux (fer titané, rutile, sphène, hornblende, etc.), se trouve de préférence dans des gabbros (hypérites à olivine), ou à leur contact immédiat, et l'on a observé une transformation en wernérite des labradors dans la zone de salbande (**).

D'après la description de M. Lundbohm, le gabbro du Dundret comprend plagioclase, diallage, pyroxène rhombique, olivine, accessoirement magnétite, ilménite et leucoxène. Il passe, vers le Nord, à un granite à hornblende spécial avec intercalation de schistes amphiboliques, dans lequel se trouvent, en divers points, mais surtout à environ 100 mètres de la limite du gabbro ($3^{km},5$ de Gellivara), des filons de feldspath, quartz, apatite, hornblende et parfois sphène ou rutile avec wernérite. Sur l'un de ces filons, par exemple, une veine large de 10 à 15 centimètres, composée surtout de feldspath avec quelques autres minéraux, renferme des noyaux d'apatite atteignant $0^m,60$ de long et $0^m,12$ de large.

D'autres filons analogues, encaissés dans le gabbro, se trouvent encore à Luspavara, Siäkavara, etc.

2° **Apatite dans les pegmatites.** — La seconde catégorie des gisements d'apatite, qu'il est utile de consi-

---

(*) *Gîtes métallifères*, I, p. 329 à 336. — M. Vogt croit plutôt à des filons concrétionnés dérivant directement du gabbro.

(**) *Apatitförekomster i Gellivare Malmberg*, p. 8.

dérer, est celle des filons de pegmatite à apatite, consta[illegible] notamment dans certains gisements de fer, qu'ils t[illegible] versent, tels que ceux de Gellivara. On y a quelquefois [illegible] un simple produit de sécrétion secondaire, ayant emprun[illegible] son phosphore aux terrains recoupés; peut-être sera[illegible] il plus exact d'attribuer, au contraire, une influence (t[illegible] locale) dans la phosphoration des minerais à l'influence [illegible] ces filons. L'apatite est, en effet, un élément très fréqu[illegible] de venues granulitiques encaissées dans des terrains, [illegible] ne contiennent à peu près aucun phosphore et qui, [illegible] conséquent, n'ont pu en fournir à ces venues par réact[illegible] secondaire. Cette substance se trouve aussi abondamm[illegible] dans certaines minéralisations stannifères rattachées a[illegible] pegmatites. Il me suffira de rappeler, à ce propos, le cas [illegible] gisement d'étain de Montebras dans la Creuse, qui, suiv[illegible] les points, peut être considéré également comme un [illegible] sement d'apatite, ou encore comme un gite de ces autr[illegible] phosphates plus exceptionnels, l'amblygonite, la turquois[illegible] la montebrasite, la wawellite, etc...

Parmi les filons de pegmatite à apatite assez nombreux [illegible] que l'on peut observer dans le district de Gellivara, l[illegible] principal se trouve à Välkomman et constitue un amas de 2m,40 de large sur 4 mètres de long, prolongé au Nord par un certain nombre d'apophyses plus minces et atteignant, en définitive, 12m,50.

La pegmatite, composée de plagioclase rouge et d'orthose avec quartz, y renferme souvent de l'oligiste en grands cristaux avec des nids d'apatite. Le minerai d'hématite, au voisinage, contient de nombreuses veinules de pegmatite à cristaux d'apatite, sans lien visible avec cette grosse masse; mais l'hématite elle-même est, dans sa masse, assez pauvre en apatite.

J'ai dit précédemment comment certains de ces filons pegmatoïdes avaient, sur leur contact, provoqué une réduction d'oligiste en magnétite; à Grängesberg, le phénomène

paraît coïncider quelquefois avec un enrichissement des minerais en phosphore.

Quelques autres points intéressants pour cette question des granulites à apatite ont déjà été décrits ; je renvoie notamment à la *fig.* 13 (page 134), représentant la paroi Est de la lentille Johan à Gellivara, où de nombreuses veines de granulite s'infiltrent dans les gneiss à hornblende et à mica noir avec délits de magnétite et où ce phénomène semble accompagné d'une richesse en apatite tout à fait spéciale.

A Kirunavara, nous avons vu également (*fig.* 4 à 7) l'apatite s'introduire dans la magnétite en véritables filons postérieurs à caractère pegmatoïde.

Il y a donc lieu d'envisager tout au moins la possibilité d'un apport phosphaté ultérieur dans les minerais sous l'influence de ces pénétrations granulitiques et il ne paraît pas s'agir là d'une simple remise en mouvement.

Néanmoins, si, dans quelques cas exceptionnels, comme à Grängesberg, la pegmatite a pu apporter du phosphore au minerai de fer, ailleurs, à Kapten de Gellivara, on constate qu'un amas particulièrement riche en filons de pegmatite se trouve le plus pur en phosphore de tout le district. C'est assez dire qu'il ne faut pas chercher, dans ces réactions, l'origine principale ni même une cause importante de la présence du phosphore dans les fers scandinaves, et, tout au contraire, nous allons voir que ce phosphore paraît, en très grande majorité, y avoir préexisté dès le dépôt sédimentaire.

Peut-être encore faut-il rattacher au même ordre d'idées les roches de *skarn* avec apatite, qui existent sur le bord de certains amas de fer et les remplacent : roches, dans lesquelles les actions granulitisantes semblent souvent avoir joué un rôle important pour cimenter des éléments bréchiformes, résultant de quelque cassure latérale aux gisements.

On rencontre, par exemple, à Tingvalls kulle, Kock Hedvig et Charlotta, une roche bréchiforme de ce ger où l'apatite est associée au plagioclase, à la magnétit à l'hornblende, qui cimentent des débris des gneiss enc sants. De même, la roche verte amphibolique, ou par gneissique, qui apparaît dans les gisements de Kror Gellivara, Berndes, etc. La teneur en acide phosphori de ces roches de skarn va de 3 à 11 p. 100.

Néanmoins, là encore, il a pu y avoir emprunt au ph phore préexistant dans les minerais.

3° Apatite dans les minerais de fer (*). — Un gr nombre des gisements de fer scandinaves, notamment c de Laponie et de Grängesberg, renferment une propor notable de phosphore incorporée dans leur masse, souv à l'état de phosphate de chaux, cristallisé individuellem côte à côte avec la magnétite ou avec l'hématite.

M. Lundbohm estime, par exemple, qu'à Gelliv l'ensemble des gisements, en ne considérant que les p cipaux, peut couvrir environ 437.600 mètres carrés, d 2/10 tiennent des minerais entre 0,011 et 0,196 p. de phosphore ; 1/10 entre 0,152 et 0,85 (en moyenne 0, à 0,495), et les autres 7/10, de 0,185 à 4,050 (1 à 22 p. d'apatite).

Ailleurs, à Kirunavara, la presque totalité des mine renferme une très haute teneur en phosphore, et l'o estimé approximativement qu'un tiers dépassait 3 p. 1 de phosphore, tandis qu'un autre tiers seulement res au-dessous de 0,1 p. 100. La moyenne contient envi 1 à 2 p. 100.

Dans le Dunderland, la teneur moyenne en phosph est de 0,2 p. 100.

A Norberg, les minerais secs, c'est-à-dire silice

(*) Voir l'*Appendice* (p. 203), consacré à la séparation industrielle deux substances et à l'utilisation des phosphates.

atteignent 0,027 de phosphore, et les minerais à gangue calcaire, toujours plus purs, descendent à 0,002.

Cette teneur en phosphore est répartie dans les minerais de fer avec une grande irrégularité. A Kirunavara, où le phosphate n'apparaît généralement pas à l'œil nu, mais est dispersé en grains très fins dans la masse d'une magnétite elle-même très compacte, cette irrégularité est poussée à l'extrême et entraîne de grandes difficultés de triage. A Gellivara, où l'apatite est particulièrement bien isolée et concentrée en cristaux volumineux de mêmes dimensions que ceux de magnétite ou d'oligiste, on sépare bien plus aisément les minerais par catégories à teneurs diverses en phosphore, dont la liste a été donnée plus haut (*) ; en outre, dans une même lentille, la teneur reste relativement plus constante ; mais il n'en existe pas moins, d'un point à l'autre, des variations très sensibles.

Indépendamment du phosphate presque invisible et finement disséminé, ou du phosphate cristallisé et grenu, on observe encore, dans la plupart des gisements riches en phosphates, tels que Kirunavara, Gellivara ou Grängesberg, des nids, des amas, des filons proprement dits d'apatite, tantôt, comme nous l'avons vu tout à l'heure, associés à des granulites, tantôt, comme le montrent (p. 82 à 84) les *fig.* 4 à 7 de Kirunavara, isolés au moins en apparence et indépendants.

Il est assez curieux de remarquer que, lorsqu'on passe des districts septentrionaux de Laponie ou du Dunderland aux districts de la Suède Centrale, le phosphore, si abondant dans les minerais du Nord, disparaît à peu près complètement dans ceux du Centre : circonstance, qui, jointe aux facilités plus grandes d'accès, a contribué à la mise en valeur beaucoup plus ancienne de ces derniers districts. On sait, en effet, que les minerais de fer suédois étaient célèbres

(*) Page 128.

autrefois pour leur pureté remarquable en phosphore, tandis que, dans les districts nouveaux, sur lesquels se porte maintenant la grande activité industrielle, ce sont, au contraire, des minerais très phosphoreux qui absorbent l'attention.

Cela ne veut pas dire pourtant que, si on considère les choses d'un point de vue simplement géologique, le phosphate soit absent, même dans les gites de la Suède Centrale; mais, — outre que, parfois, comme Grängesberg en offre un exemple typique, on a, dans certains centres miniers, où il existe ensemble des minerais purs et des minerais phosphoreux, exclusivement exploité les premiers, — l'apatite, beaucoup moins abondante, paraît y avoir eu parfois une tendance plus grande à se séparer des minerais et à se localiser.

Étant donné que, dans ces districts de la Suède Centrale, à Norberg, à Dannemora, etc., on voit souvent subsister, au contact des minerais, des bancs calcaires, dont il n'existe plus trace à Kirunavara et Gellivara, et que certains districts localisés, comme Norberg en Suède, la Visokaya gora dans l'Oural, etc., etc., montrent nettement des minerais phosphoreux dans les roches siliceuses à côté des minerais purs dans les calcaires, on peut se demander s'il ne se serait pas produit là, dans le métamorphisme, au contact de ces calcaires, une opération épurante, analogue à celle que l'on réalise en métallurgie par les garnisseurs basiques et si le phosphate des skarns, par exemple, n'en serait pas le résultat. Ce qui peut donner quelque fondement à cette idée, c'est surtout le contraste, que je viens de signaler, entre les minerais siliceux et les minerais calcaires d'une même zone. Je ne crois cependant pas qu'on ait fait, jusqu'ici, aucune observation précise sur la teneur en phosphate des roches encaissantes, susceptible de donner à cette idée un peu vague un fondement sérieux, qui lui manque encore.

Sur les causes de la richesse en phosphore plus ou

moins grande qu'ont pu présenter originellement telle ou telle couche, tel ou tel quartier dans un même district, il est des plus difficile de se prononcer. Il faudrait, d'ailleurs, auparavant résoudre un problème, qui se présente dans des conditions beaucoup plus simples et qui se rattache à celui-là : à savoir l'origine des variations analogues, que l'on observe, même à des distances très restreintes, sur tous les sédiments phosphoreux à caractère sédimentaire subsistant, aussi bien les couches phosphatées de Tunisie que les minerais de fer toarciens de Meurthe-et-Moselle. Il est évident que, dans les circonstances complexes de la sédimentation, telle ou telle cause locale, tel ou tel mouvement des courants, tel ou tel développement des organismes ont pu amener la précipitation chimique du phosphore ou sa concentration sous forme de débris organisés. Je me borne donc à citer deux ou trois observations relatives à des variations, qui offrent une apparence théorique, sans vouloir en tirer des conclusions générales, qui ne seraient probablement pas justifiées.

A Tingvalls kulle de Gellivara, par exemple, les bancs les plus phosphoreux sont au mur, où existent les grosses veines d'apatite, atteignant 0m,10 ou 0m,15, dont il a été question plus haut; les parties du toit sont plus pures et, si l'on s'éloigne des premiers bancs de minerais dans la direction du toit, on arrive, après une intercalation de roches gneissiques stériles en fer, aux couches de Kapten, qui sont peu phosphoreuses.

De même, à Grängesberg, la zone la plus pure est celle des couches minces, qui se trouve au mur, notamment vers le Sud-Ouest, tandis que les grands amas du Nord-Ouest sont particulièrement phosphoreux.

De même, encore à Norberg, la zone la plus phosphoreuse, celle des minerais siliceux, est celle qui se trouve au mur, le plus près du granite, tandis qu'en s'écartant vers le toit des couches, dans la direction de l'Ouest,

on trouve des minerais plus purs, associés au calcaire.

Il serait d'autant plus téméraire de vouloir tirer de ces faits une loi théorique quelconque, que, par suite des renversements possibles, nous ne saurons jamais en réalité si le toit actuel des couches correspond bien au toit primitif et n'était pas, au contraire, le mur à l'époque du dépôt. La seule chose qu'il est peut-être permis de retenir de l'ensemble des faits, c'est l'existence assez fréquente de strates déterminées et continues, ou particulièrement phosphoreuses, ou spécialement pures : ce qui semblerait bien correspondre avec l'hypothèse sédimentaire, que nous avons adoptée relativement à ces dépôts ferrugineux.

Si, pour s'éclairer sur ces phénomènes d'interprétation difficile, on abandonne les minerais de fer scandinaves et l'on envisage l'ensemble des minerais de fer, sédimentaires ou filoniens, exploités dans le monde, on peut adopter une classification des minerais d'après leur teneur en phosphore, analogue à celle que nous avons vu appliquer à Gellivara, c'est-à-dire distinguer ces minerais en cinq catégories : I, au-dessous de 0,02 de phosphore ; II, entre 0,02 et 0,05 ; III, entre 0,05 et 0,1 ; IV, entre 0,1 et 0,8 ; V, à plus de 0,8.

D'un tableau que j'ai préparé en suivant ce principe, ressortent, en résumé, les conclusions suivantes :

1° Dans le groupe I, le plus pur en phosphore, se trouvent à peu près exclusivement des minerais à gangue calcaire, souvent, en même temps, riches en manganèse :

a) Soit des minerais recristallisés dans des calcaires métamorphiques, tels que ceux de Dannemora ou Persberg en Suède, les minerais à gangue calcaire de Norberg, ceux de Mokta-el-Hadid en Algérie, de Krivoïrog en Russie ;

b) Soit des minerais substitués à des calcaires (des hématites provenant de carbonates et, probablement même, primitivement, de pyrites), tels que ceux d'Eisenerz en Styrie, du Canigou, de la province de Murcie, du Cum-

berland et du Lancashire, de Bilbao, de l'île d'Elbe et du Banat, etc.;

c) Soit encore des minerais ayant subi un métamorphisme, accompagné d'une altération superficielle, tels que ceux de Marquette, Vermilion et Mesabi au Lac Supérieur, les agatisés de Privas, etc.;

d) Soit enfin des gites d'altération superficielle, représentant peut-être des chapeaux de filons sulfurés, tels que ceux de la Tafna et du Djebel Ouenza en Algérie, ou de Tabarca en Tunisie, qui passent pourtant déjà au groupe II.

Il semble donc que des minerais à égale teneur primitive en phosphore aient pu s'épurer par deux genres de réactions, en rapport assez intime l'une avec l'autre : tantôt le métamorphisme, favorisé par le contact de bancs calcaires, ainsi que nous le supposions tout à l'heure pour la Suède; tantôt l'altération superficielle sous l'action des eaux chargées d'oxygène et d'acide carbonique, altération, également d'autant plus complète qu'une gangue calcaire ou dolomitique l'a favorisée.

On peut ajouter qu'un grand nombre de minerais ferrugineux non sédimentaires et plus ou moins directement reliés aux manifestations éruptives paraissent purs en phosphore : soit des gites de ségrégation (*), sous forme de magnétites ou de titano-magnétites; soit des filons et amas filoniens de sulfure de fer (la présence du soufre abondant paraissant, dans une certaine mesure, contradictoire avec celle du phosphore).

Nous allons voir qu'au contraire, dans la presque totalité des minerais de fer sédimentaires, le phosphore paraît avoir été associé originellement au fer en proportions plus ou moins fortes et ne s'en être séparé ultérieurement, quand il l'a fait, que par quelque réaction métamorphi-

(*) Le cas de Kirunavara est beaucoup trop mystérieux pour pouvoir entrer en ligne de compte ici, d'autant plus qu'il peut correspondre lui-même, comme on l'a vu, à une sédimentation.

sante ou dissolvante. Il ne faut peut-être pas chercher d'autre cause à cette association que la solubilité commune des éléments ferrugineux ou phosphatés dans une eau chargée de certains corps, tels que l'acide carbonique en excès; et leur semblable précipitation, quand l'excès de cet acide carbonique se dégage. Ce rapprochement des propriétés chimiques a pu, à lui seul et même sans faire intervenir l'action possible des organismes, concentrer, simultanément et sur les mêmes points, le fer et le phosphore, empruntés d'abord à la destruction et au remaniement des roches éruptives.

2° Si nous passons en effet aux groupes des minerais les plus phosphoreux, IV et V, nous y trouvons :

a) La presque totalité des minerais sédimentaires non métamorphisés et peu ou point altérés superficiellement; par exemple, dans le groupe IV, les minerais siluriens du Thüringer Wald et de Clinton (N.-Y.), les minerais liasiques du Cleveland, hettangiens de Mazenay, crétacés d'Amberg dans le Palatinat, éocènes du Berry, pléistocènes des marais suédois ; dans le groupe V, les oolithes siluriennes de Saint-Rémy en Calvados ou de Nucic en Bohême, les minerais carbonifères de la Ruhr et de la Loire, les minerais toarciens de Meurthe-et-Moselle, bajociens de la Nièvre, pléistocènes des marais du Schleswig ;

Puis, *b*), certains minerais cristallins métamorphiques, dont les plus remarquables sont ceux, étudiés ici même, de Gellivara, Grängesberg, etc., ou ceux, assimilables, de Segré en Maine-et-Loire ou Diélette dans la Manche ;

Enfin, *c*) quelques intercalations dans les roches éruptives, à Kirunavara, Iron Mountain, etc.

Il semble ainsi, comme je l'annonçais tout à l'heure, que, dans la plupart des formations sédimentaires, les circonstances, qui ont amené la précipitation du fer, ont été également de nature à provoquer la concentration du phosphore (bien que l'inverse soit souvent inexact, c'est-à-

dire qu'il puisse exister des dépôts phosphatés non ferrugineux). Il n'est guère de sédiment ferrifère inaltéré, qui ne soit, en même temps, plus ou moins phosphoreux. Mais il est bien évident aussi que cette proportion du phosphore, associé au fer dans la sédimentation, a dû être très variable suivant les cas, et elle parait s'être tout particulièrement exagérée dans les minerais de Laponie ou de Grängesberg, puisque, malgré leur métamorphisme et leur recristallisation, ceux-ci contiennent une richesse en apatite tout à fait anormale.

N'y aurait-il pas une relation entre l'abondance remarquable du fer dans ces régions (sans doute attribuable surtout à la destruction de roches ignées particulièrement ferrugineuses), cette teneur spéciale en phosphore et la profondeur d'une érosion consécutive de plissements très anciens, ayant mis à nu des magmas ultrabasiques de profondeur, d'où le phosphore n'avait pu s'échapper, comme il l'a fait dans les zones plus hautes des plissements, ou, dans quelques cas spéciaux, en Scandinavie même, sous des influences de pneumatolyse ? L'apport, dans les bassins sédimentaires, de tout ce fer et de tout ce phosphore viendrait alors de ce que les érosions ont atteint des scories provenant directement de ces bains métalliques, assimilables aux météorites, c'est-à-dire à des roches d'origine particulièrement profonde, où se présente déjà l'association si caractéristique du fer et du phosphore, qui, une fois commencée, s'est, par suite des réactions chimiques, continuée dans toute la série géologique.

CHAPITRE V.

RÉSUMÉ. — CONCLUSIONS THÉORIQUES.

On a vu, au cours de cette étude, que certains minerais de fer scandinaves, habituellement caractérisés

par une forte teneur en titane, semblaient résulter d'une ségrégation directe, exercée en profondeur sur des magmas basiques : le plus souvent, sur des gabbros, comme à Taberg, Routivara, etc.; exceptionnellement, sur des syénites néphéliniques, à Alnö. Nous avons également insisté sur les conditions tout à fait anormales, dans lesquelles la masse de magnétite de Kirunavara vient s'intercaler entre deux coulées d'orthophyre sodique. Mais, si on laisse de côté ces quelques gisements spéciaux, dont l'origine a été suffisamment discutée pour n'avoir plus à y revenir, l'immense majorité des gisements de fer suédois se présente à l'état d'amas lenticulaires intercalés dans des terrains métamorphiques. Ce sont les conditions de dépôt et le mode de formation de ces amas, qu'il convient d'examiner ici.

Tout d'abord, et pour nous en tenir au fait essentiel, l'*origine sédimentaire* de ces amas ferrugineux me paraît, bien qu'elle ait été fort controversée jadis (*), à peu près indiscutable. Rien dans leur allure, sauf quelques accidents de détail dont on peut trouver l'explication, ne présente le caractère filonien. D'autre part, j'ai eu l'occasion de dire bien des fois, ici et dans des travaux antérieurs, combien il me semblait essentiel de faire rentrer dans la loi commune des terrains sédimentaires, en attribuant au métamorphisme son rôle réel, ces couches cristallophylliennes, que l'on envisageait autrefois comme la croûte primitive du globe et dont l'âge peut, en réalité, varier, suivant les régions, du précambrien au tertiaire. Il n'y a donc aucune raison pour chercher de parti pris une explication spéciale aux minerais de fer qu'ils renferment

(*) Poszepny a encore soutenu l'origine filonienne dans un mémoire récent (*Über die Genesis der Erzlagerstätten*, 1895, 191), où, d'une façon générale, il combat partout la théorie sédimentaire, même pour les gisements cuivreux du Mansfeld. On a vu, d'ailleurs, aussi des théories récentes tendre à expliquer les minerais de fer de Meurthe-et-Moselle par une substitution ultérieure du fer au carbonate de chaux, en relation possible avec des failles. Je me propose de revenir, dans un autre travail, sur la théorie générale des gîtes sédimentaires.

et pour différencier ces derniers de ceux que l'on trouve intercalés au milieu d'autres sédiments.

Or ces amas de fer s'interstratifient, d'une façon constante, très régulièrement, parfois par couches minces extrêmement prolongées, au milieu des terrains qui les encaissent; ils peuvent, assurément, présenter des indices de dislocations mécaniques, qui amènent des pénétrations locales et accidentelles dans la roche du toit ou du mur; mais, partout ailleurs, il y a concordance entre eux et les strates de gneiss, hälleflints, leptynites, etc., qui les enveloppent.

J'ajouterai que la principale objection apparente à une hypothèse sédimentaire, à savoir les grandes divergences dans la nature des couches encaissantes aux divers points d'un même district minier, s'est trouvée, je crois, levée par la supposition émise plus haut, et que je vais bientôt développer plus en détail, d'après laquelle les hälleflints, les leptynites et les gneiss amphiboliques, au milieu desquels on rencontre souvent les minerais, proviendraient, en grande partie, d'anciens sédiments, peut-être calcaires, diversement silicifiés ou feldspathisés suivant les points. Quelques autres difficultés, auxquelles on aurait pu s'arrêter, telles que la multiplicité des lentilles ferrugineuses sur certains points, ou l'épaisseur anormale de quelques-unes, ont été également expliquées au début du chapitre III. Considérant donc l'origine sédimentaire des gisements comme admise, il reste à préciser dans quelles conditions s'est faite leur sédimentation et comment le mode de dépôt, ou les réactions ultérieures, auxquelles ils ont été soumis, permettent de comprendre leur allure actuelle, la nature de leurs minerais, les corps étrangers qu'ils renferment, etc.

Sur le premier point, à savoir le *mode de dépôt des minerais de fer*, les auteurs scandinaves, Vogt, Sjögren, etc., paraissent s'être fait une opinion assez généralement admise dans leur pays; pour eux, ce sont des

minerais lacustres, des minerais de marais. Il leur semble expliquer ainsi, d'une façon particulièrement satisfaisante, divers caractères des gisements : leur forme en amas, attribuée au dépôt sur un fond inégal; la présence de bitume, anthracite ou graphite, causée par des plantes, auxquelles serait également dû le phosphore; la teneur en soufre, tenant à la réduction de sulfates en présence de ces mêmes matières organiques, etc.

Il est bien difficile de discuter une question semblable pour des minerais encaissés dans des terrains, qui ne gardent plus rien de leur allure ni de leur constitution primitive et où, naturellement, toute trace d'organismes a disparu. Néanmoins, je me demande si ces géologues n'ont pas, comme cela arrive assez naturellement, été séduits d'abord par l'assimilation avec les minerais de fer actuels propres aux régions du Nord dans lesquelles ils vivent, tandis que nos minerais de fer secondaires ou tertiaires d'origine marine, auxquels il est encore plus naturel d'assimiler les minerais scandinaves, leur sont moins familiers. En réalité, quand on passe en revue la série complète des minerais de fer intercalés dans des strates sédimentaires à conditions de dépôt bien connues, on les trouve à peu près tous dans des strates marines et contenant eux-mêmes des fossiles marins; on peut même ajouter qu'un nombre de plus en plus grand d'entre eux nous apparait, à mesure que les études se multiplient et se précisent, comme s'étant déposés d'abord à l'état de carbonate de fer oolithique, ultérieurement oxydé par altération. Je ne crois pas que l'explication des formes lenticulaires propres aux minerais scandinaves par un dépôt sur un sol marécageux inégalement bosselé ait une bien grande portée; elle ne rend compte, en effet, ni de la concordance habituelle entre les couches du mur et les sinuosités du gisement, ni des renflements qui existent dans le gite aussi bien au toit qu'au mur, ni même des épaisseurs du minerai

atteignant une centaine de mètres, c'est-à-dire une dimension bien extraordinaire pour un minerai de marais, tandis que les plissements ultérieurs de dépôts marins, la réunion de plusieurs bancs d'abord distincts et superposés par le métamorphisme et surtout la substitution du fer à d'autres terrains par altération chimique peuvent, au moins aussi bien, comme nous allons le voir, expliquer ces phénomènes.

Enfin je suis porté à attribuer la présence des hydrocarbures, celle d'une partie du soufre et peut-être du phosphore, rattachés dans l'hypothèse précédente aux seules matières organiques, à des actions de pneumatolyse, reliées aux intrusions granulitiques, qui se sont certainement produites sur ces gisements après leur dépôt et qui ont dû contribuer à leur recristallisation métamorphique.

Pour préciser de suite les idées et avant d'entrer dans le détail, voici comment les phénomènes me semblent pouvoir être interprétés.

Imaginons, à une époque primaire indéterminée, — qui n'est pas du tout nécessairement précambrienne, puisque les gisements du Dunderlansdal sont dans le silurien, mais que l'absence ou la disparition des restes organiques empêche de caractériser, — des dépôts de fer, analogues par exemple à ceux de Meurthe-et-Moselle (que je prends pour comparaison, parce que leur grande importance industrielle les rend très connus), c'est-à-dire formant, au milieu de calcaires plus ou moins argileux, plus ou moins gréseux, des bancs de quelques mètres d'épaisseur, probablement constitués par des carbonates de fer oolithiques(*) (peut-être même ici, quoique l'hypothèse soit

(*) Le fer, dissous par l'acide carbonique ou les acides organiques, peut être précipité par deux réactions principales : la peroxydation, qui agit surtout dans les réactions superficielles, puisqu'elle exige la présence de l'oxygène en excès, et le dégagement de l'acide carbonique, qui paraît avoir joué un rôle beaucoup plus important dans les phénomènes de grande extension géologique. Le sulfate de fer est précipité par réduction en présence des matières organiques, des hydrocarbures, etc., à l'état de sulfure de fer.

bien hardie à formuler sans aucune preuve, par des s
de fer). Ces dépôts de fer auraient été produits par
solution de silicates ferrugineux empruntés aux
remaniées ou détruites, aux magmas basiques si
dants, qui, ailleurs, ont donné des masses ferrugi
par ségrégation directe, ou, à titre hypothétique, p
draient d'émanations volatiles reliées à ces mêmes r
les dissolutions, effectuées sous la forme de carb
ou peut-être de sulfates, auraient subi une précipi
attribuée, soit à une saturation difficile à concevo
à une réaction chimique plus vraisemblable (notan
en présence de matières organiques, servant de c
d'attraction aux dépôts).

C'est sur cet ensemble de formations ferrugineuse
pu, avant le métamorphisme profond et en quelqu
tectonique dont le rôle a été essentiel, se produire
une altération d'origine superficielle, analogue à ce
nous constatons si habituellement sur tous les gît
récents : c'est-à-dire qu'une partie de ces couches
disparu par érosion; que le fer de ces strates dét
entré en dissolution, se serait reprécipité plus bas,
être substitué localement à des calcaires; que les
rais de surface se seraient oxydés plus ou moins
dément et qu'il en serait résulté, comme nous le
pour tant de gisements de fer, surtout pour les
filoniens encaissés dans les terrains calcaires, la
tion locale de grands amas, substitués à des bancs cal
dont une partie subsistait intacte à côté d'eux,
autre passait à eux par une série de transitions inse
(voir la Styrie, le Cumberland, les Pyrénées, etc.).

A cette époque, ou postérieurement, dans les
tions métamorphisantes dont il va être question, la
fication aurait commencé à agir sur les calcaires
sants, qui, masqués aujourd'hui par cette transforn
ont pu jouer, à l'origine, un rôle tout à fait hors de p

tion avec les faibles résidus que l'on en retrouve encore.

En même temps, la réaction du fer sur les roches encaissantes se serait produite sous la forme d'une véritable opération métallurgique, entraînant la cristallisation de minéraux ferrugineux, tels que les grenats, pyroxènes, etc. (*), dont l'ensemble compose la gangue de skarn : c'est-à-dire qu'un même calcaire primitif pourrait se retrouver aujourd'hui sous trois apparences distinctes, constituant les trois gangues principales des minerais scandinaves : calcaires subsistants, skarn à silicification incomplète, ou enfin roches entièrement silicifiées ou feldspathisées, hälleflints et leptynites. Par un phénomène connu, cette métallurgie naturelle aurait pu déplacer, séparer ou concentrer localement du phosphate.

Il s'agit là, comme on le voit, d'un véritable métamorphisme, qui, dans ses termes essentiels, n'appartient déjà plus à la première phase tout à fait incertaine dont il vient d'être question, mais qui a cependant pu commencer avec elle pour se continuer plus tard.

La première altération superficielle problématique, que je viens de supposer, peut surtout nous aider à comprendre certaines substitutions apparentes de magnétites à des calcaires, avec ou sans intermédiaire de skarn (à Dannemora, Norberg, etc., comme à Mokta el Hadid, en Algérie). Mais il faut, en tout cas, imaginer que, postérieurement, ces terrains, soumis à un plissement considérable vers l'époque silurienne, ramenés par ce plissement en profondeur, peut-être même écrasés sous le chevauchement de toute une zone charriée, comme nous le rappe-

(*) On remarquera que le grenat, le pyroxène, l'épidote font complètement défaut à Gellivara et Kirunavara et sont rares à Grängesberg, alors qu'ils sont tellement fréquents dans certains gîtes de la Suède Centrale, à Dannemora et même à Norberg, qu'on croirait y voir un corollaire presque obligé du minerai de fer. Cela correspond bien à la rareté des calcaires dans les premiers gisements, à leur abondance dans les derniers.

lions plus haut à propos de Kirunavara, ont dû être soumi à la fois, à des actions calorifiques et dynamiques, et à d influences de pneumatolyse, tenant aux fumerolles dégagé par les magmas fluides, dont les mouvements du sol le avaient rapprochés.

C'est alors que se serait produite la venue de tout ces granulites et quartz connexes, qui recoupent en filo la plupart des gîtes suédois (*). En même temps, devaie se dégager tous les minéralisateurs habituels, les chl rures, sulfures, carbures, etc., dont il est peut-être pe mis de retrouver la trace dans les minerais actuels : é ments accompagnés par une grande quantité d'eau, c devait se dissocier en présence de divers minéraux d roches.

Le rôle du chlore dans le métamorphisme des miner de fer n'est pas improbable, comme je l'ai déjà fait rem quer. On sait, en effet, quelle est l'action cristallisante l'acide chlorhydrique sur le fer. Cet acide chlorhydriq lui-même, une expérience connue de Gay-Lussac le mon mis en liberté par la réaction des silicates sur le chlor de sodium en présence de la vapeur d'eau. Avec ce vapeur et de l'oxyde de fer amorphe, il y a producti d'oligiste.

Peut-être donc sommes-nous en droit de suppo que la cristallisation générale du fer dans nos giseme

(*) On retrouve de même, à Ammeberg, la granulite à microc recoupant les intercalations de blende et galène dans les gneiss. apparaissent ainsi à peu près contemporaines des minerais de fer nous étudions et peut être même en relation d'origine avec eux. (quelquefois considere ces veines de granulite, pegmatite ou qua comme un simple phénomene secondaire sans aucun rapport avec manifestations eruptives ou internes. Cette idée va avec celle qui a bue les hydrocarbures à une distillation de matieres organiques. me semble peu vraisemblable et nullement en rapport avec ce q peut observer dans nos regions francaises, où l'origine interne granulites et leur richesse en mineralisateurs apparaissent bien nettement qu'en Scandinavie.

a pu être favorisée par des réactions chlorurées, dont on retrouverait la trace dans le chlore des apatites et celui des wernérites connexes : le phosphate de chaux de ces apatites pouvant, d'ailleurs, être, ou d'origine sédimentaire, ou d'origine filonienne.

Évidemment, pour opérer cette transformation d'un phosphate sédimentaire en chloro ou fluo-phosphate, aucun apport interne n'est nécessaire, et M. Carnot a montré comment les ossements subissaient une fluatisation par simple séjour dans le sol ; mais, en ces gisements métamorphiques et pénétrés de granulites en tous sens, il est naturel de penser aux filons d'apatite, que l'on rencontre, en d'autres points de la Norvège, comme Oddegaarden, intercalés dans une série de granulites, recoupant les unes, recoupés par les autres, et en relation probable avec elles, en même temps qu'avec les gabbros dont elles dépendent peut-être, ou encore aux apatites des roches éruptives, telles que les granites stannifères ou les trachytes de Jumilla. Cela ne veut pas dire que le phosphore ait été, en général, introduit ainsi dans les minerais ; il pouvait, il devait même en préexister la majeure partie dans le sédiment ; mais une telle réaction a pu également jouer un rôle, et nous en avons un commencement de preuve quand nous observons des granulites à apatite au milieu du minerai, comme dans le cas de Välkomman, ou dans les exemples qu'a rassemblés et cités M. Lundbohm.

En outre, on trouve, dans plusieurs des gisements étudiés, des traces de fluorine en relation bien probable avec les pegmatites, par exemple à Gellivara (*), au mur de Tingvalls kulle, et à Grängesberg, avec association de béryl.

Peut-être aussi des manifestations sulfurées se sont-

(*) Dans les minerais de fer de Port-Champlain, aux États-Unis, M. Kemp signale des fluorines en masse.

elles produites en même temps, amenant accessoiremen dans le gite ou sur ses épontes, des métaux du grou cuivre-zinc-plomb, etc. J'en ai cité des exemples partic lièrement remarquables à Dannemora et à Norberg, où existe de véritables filons sulfurés complexes; mais, a leurs, on rencontre aussi du sulfure de cuivre, soit quantités relativement notables comme à Svappavara, s en traces, comme à Gellivara (toit de Tingvalls kulle, S et Ouest de Sofia supérieure, etc.). Il est possible que venues, qui affectent facilement la forme de filons-couch aient une relation avec les remarquables imprégnatic blendeuses et galénifères, que l'on trouve, dans les mên terrains cristallophylliens, sur d'autres points de la Sc dinavie, tels que Åmmeberg, ou même avec les giseme pyriteux si fréquents de ce pays, ordinairement rat chés aux gabbros. J'ai également indiqué l'hypothèse q les sulfures aient joué originellement, dans la format i de tous ces minerais de fer oxydés, un rôle très sup rieur à celui que l'allure actuelle de ceux-ci tend à le faire attribuer.

Enfin, nous avons vu des dégagements hydrocarbur se déceler en divers points (Norberg, Grängesberg, etc. (*) et l'on retrouve le même fait dans les gites sulfuré d'Åmmeberg: j'ai dit, en en parlant plus haut, commen ces carbures avaient pu contribuer à réduire localemen l'oligiste en magnétite et, quelle que soit l'origine pre mière de ce carbone, je crois sa distillation, sa mise en mouvement, bien probablement liées au déplacement profond des magmas granulitiques.

Les réactions chimiques métamorphisantes, où nous apercevons ainsi l'indice de véritables phénomènes de pneumatolyse, ont été accompagnées, précédées ou suivies de mouvements mécaniques, dont les gites portent la trace

---

(*) Comparer les anthracites des filons d'argent de Kongsberg.

constante, sous forme de cassures locales, failles plus générales, pseudo-schistosités, rebroussements, contournements, etc. (*). Il semble bien que l'accumulation des bancs plissés sur certains points d'inflexion ait, en dehors des actions de substitution métamorphique imaginées plus haut, contribué à la formation des gros amas, que l'on trouve presque toujours, comme nous l'avons vu, à des coudes des gisements (notamment à Gellivara, Grängesberg, Norberg, Persberg).

Telle est, en quelques mots, la conception à laquelle on pourrait arriver sur ces gîtes si obscurs. Il reste à montrer un peu mieux comme elle rend compte des principales difficultés, auxquelles on se heurte en cherchant à les comprendre, et, tout d'abord, de la nature des roches encaissantes, puis de celle des minerais eux-mêmes, à savoir de la prédominance, ici de l'oligiste, là de la magnétite, enfin de l'existence des divers corps accessoires, des impuretés industrielles du minerai, etc.

La *nature des roches encaissantes* offre à la théorie sédimentaire une difficulté, que je n'ai pas cherché à dissimuler. Il est singulier que, dans une même zone minière occupant une longueur restreinte de 4 ou 5 kilomètres au plus, un système de couches sédimentaires ferrugineuses passe, successivement, des hälleflints aux leptynites, aux calcaires, aux amphibolites et aux pyroxénites, tantôt intercalé dans des roches du type acide, tantôt dans des roches du type basique. Supposer que ces divergences proviennent d'une différence originelle dans la sédimentation est évidemment possible ; on peut également concevoir qu'un

(*) Les exemples de torsion dans les couches métallifères à leurs coudes sont très fréquents (mines Johan, Tingvalls kulle, Linné, à Gellivara, etc.). De même, j'ai cité de nombreux exemples de brèches avec ciment granulitique et cristallisation de hornblende le long des gisements (Fredrikas à Gellivara, Norberg, etc.) ; j'ai parlé également de ces espèces de failles que l'on appelle le sköl.

fer de marais se soit déposé sur des terrains n'ayant aucun rapport entre eux (bien que cette explication, admissible à la rigueur pour les roches du mur, ne le soit plus pour celles du toit); mais il me semble beaucoup plus probable qu'un même banc, occupant, à 3 ou 400 mètres de distance, le toit ou le mur d'une même strate ferrugineuse caractéristique, a dû avoir, au début, à peu près la même composition et que, s'il nous apparaît aujourd'hui très différent, c'est parce qu'il n'a pas subi le même métamorphisme. C'est une des raisons qui m'ont conduit à l'hypothèse énoncée plus haut et un peu surprenante au premier abord, d'après laquelle les hälleflints et leptynites seraient des formes métamorphiques de calcaires comme on l'admet, d'autre part, très généralement pour les cipolins, amphibolites, pyroxénites, où la chaux et la magnésie se retrouvent. Cette raison n'est pas la seule, et comme la question n'est pas sans importance pour notre théorie, ni même pour l'explication générale des terrains cristallophylliens, il convient d'énoncer les autres arguments, qui militent en faveur de cette théorie.

Tout d'abord, les exemples connus et classés de silicifications, à caractère même superficiel, exercées sur des bancs calcaires, sont aujourd'hui très nombreux. On attribue à un phénomène de ce genre les silex de la craie, les meulières tertiaires, les lits siliceux, les chailles des calcaires jurassiques, etc. ; en ce qui concerne plus spécialement les minerais de fer, une hypothèse, analogue à celle que je formule ici, a été proposée, par les géologues américains les plus autorisés, pour les jaspilites, dans lesquelles s'intercalent, comme on le sait, les minerais du Minnesota. Peut-être encore est-ce un phénomène de ce genre qui a produit l'association si fréquente des minerais oxydés de manganèse (minerais dont la concentration paraît très ordinairement superficielle) avec des substances siliceuses jaunes, rouges ou brunes, à aspect jaspoïde.

D'autre part, il existe, entre la catégorie de roches, à laquelle appartiennent les leptynites ou les hälleflints, et les amphibolites, pyroxénites ou cipolins, c'est-à-dire les roches où se retrouvent encore la chaux et la magnésie, une association remarquablement constante dans tous les massifs cristallophylliens, aussi bien en Bohême que dans le Plateau Central (régions de Tulle, Brive), en Norvège qu'à Ceylan, association qui laisse supposer une communauté d'origine : les leptynites de Tulle passent à des amphibolites ; les amphibolites de la zone d'Ussel ou de Saint-Eloy se relient à des cipolins ; les leptynites de Dannemora renferment des lits calcaires(*), etc.

Enfin, si l'on admet, comme nous le faisons pour toutes les formations cristallophylliennes, une origine sédimentaire, les calcaires sont assurément les terrains dont la structure, le grain, la disposition se prêtent le mieux à expliquer la formation des hälleflints ou des leptynites, par silicification ou feldspathisation, tandis qu'on ne voit pas bien comment des grès ou des schistes auraient pu passer à des roches semblables.

Un autre point à examiner, c'est le *degré d'oxydation plus ou moins avancé du fer*, que l'on trouve, tantôt à l'état d'hématite, tantôt à l'état de magnétite. Dans le cycle très compliqué des transformations du fer, il apparaît aussitôt que l'hématite de nos gisements scandinaves représente, tantôt une étape antérieure à la magnétite, tantôt une phase postérieure. Nous avons, en effet, par exemple : à Grängesberg, de l'oligiste réduit en magnétite sur le contact de filons de quartz ; à Kirunavara, de la magnétite oxydée en hématite à la superficie. En tel gisement, la magnétite se présente comme la forme de cristallisation primitive ; ailleurs, elle doit, au contraire, provenir d'une réduction. Les raisons, qui ont déterminé l'état d'oxydation plus ou moins

(*) Voir plus haut, p. 163.

avancé du fer, sont, en général, impossibles à démêler. Dans certains cas toutefois, on paraît les entrevoir.

C'est ainsi que je viens de rappeler l'action réductrice des filons de quartz, attribuable, soit à l'hydrogène produit dans la dissociation de l'eau en présence des silicates, soit au carbure d'hydrogène, provenant lui-même de cet hydrogène agissant sur du carbone ou même sur des carbonates(*). Cette dernière réaction contribuerait peut-être à expliquer pourquoi, dans bien des cas, à Dannemora, à Norberg, à Persberg, etc., les minerais encaissés dans les calcaires sont surtout des magnétites, ceux à gangue siliceuse des oligistes. A Dannemora et à Persberg, la magnétite joue un rôle prédominant, comme dans les gites de Taberg, de Kirunavara, bien que pour des raisons toutes différentes.

Mais, ailleurs, le mélange des deux oxydes est souvent très complexe, comme on le retrouve d'ailleurs dans beaucoup d'expériences de synthèse, où l'oligiste et la magnétite se produisent simultanément.

Quand ils se séparent, il arrive souvent que toute une partie d'un district offre une prédominance d'oligiste, une autre à peu près exclusivement de la magnétite.

Ainsi, à Gellivara, il semble y avoir une zone Nord plus riche en oligiste, une zone Sud en magnétite; et, cependant, dans un gisement de la zone Nord de ce district, à Tingvalls kulle, l'oligiste occupe le centre de la magnétite.

De même, à Grängesberg, certaines trainées étroites sont uniquement formées d'hématite, tandis que, dans plusieurs grandes tranchées, on a passage de l'hématite à la magnétite en allant d'une éponte à l'autre.

(*) Certains filons de quartz ou de granulite a hydrocarbures ou à apatite, qui réduisent à leur contact l'oligiste en magnétite, renferment intérieurement de l'oligiste en grandes lamelles, très différent de l'oligiste à fines paillettes, semblable à un agregat micacé, qui occupe la masse du gisement.

Enfin, nous devons envisager les *corps accessoires*, que l'on rencontre à l'occasion dans les minerais.

Ces corps accessoires sont de plusieurs natures.

Il y a d'abord les métaux, qui paraissent avoir été associés au fer dans sa ségrégation primitive et avoir suivi ses évolutions en se concentrant plus ou moins.

Tels sont le manganèse, le titane, le vanadium, le chrome, le nickel, etc.

L'association du manganèse avec le fer est constante. Elle s'exagère très certainement dans les altérations par une concentration relative du manganèse, comme s'exagère, dans les mêmes conditions, la proportion de la magnésie par rapport à la chaux. En outre, certaines réactions peuvent fixer ce manganèse, et il semble que la présence de calcaire y soit favorable, amenant ainsi l'existence de minerais particulièrement manganésés dans les calcaires, par exemple de magnétites manganésifères (Dannemora, etc.).

Le rôle du titane a été examiné en détail dans un mémoire antérieur, et je n'ai pas besoin d'y revenir. La ségrégation du fer dans les roches basiques du type des gabbros est accompagnée par celle du titane sous forme de titanomagnétites, ilménites, etc.; ainsi se forment des minerais à haute teneur en titane, comme ceux de Routivara. Dans les minerais sédimentaires, le titane est plus rare, quoiqu'on en observe dans une foule de terrains, notamment dans la plupart des argiles et des schistes. Il existe, à Grängesberg, sous forme de sphène. Ailleurs, il faut remarquer que le titane se présente dans des réactions acides, quartz à rutile et oligiste, apatites avec ilménite d'Oddegaarden en filons dans le gabbro, etc.

Le vanadium suit, en traces généralement très faibles, la fortune du titane. Le nickel et le chrome sont rares dans les minerais exploités de fer. Dans le mémoire sur le titane, auquel je renvoyais plus haut, j'ai rappelé com-

ment ces deux métaux, originellement associés avec le fer, avaient dû subir une ségrégation différente : pyrrhotines nickélifères se rassemblant à la périphérie des gabbros, fers chromés se concentrant au centre des péridotites et les péridotites elles-mêmes allant à l'opposé des gabbros à titano-magnétite.

Certains métaux, d'autre part, ont pu être introduits après coup, tels que ceux ordinairement associés au soufre : cuivre, zinc, plomb (Dannemora, Svappavara, etc.), dont j'ai suffisamment parlé à l'occasion de ces deux gisements. Le cuivre se retrouve en traces à Norberg, à Grängesberg, Gellivara, et nous avons vu, à Norberg comme à Dannemora, un vrai gîte de sulfures métallifères (galène, etc.) au contact du minerai où sa présence peut ne pas être purement accidentelle.

Quant aux métalloïdes, j'ai déjà dit ce que l'on pouvait penser du carbone (*) et du phosphore. Le soufre n'est pas exceptionnel, à l'état de pyrite, parfois accompagnée de chalcopyrite, et il ne serait pas absolument impossible qu'il y eût là un résidu d'une forme minérale sulfurée, ayant été au début beaucoup plus abondante avant les transformations et altérations subies par le minerai.

Enfin, certaines associations résultent de réactions secondaires.

La hornblende et tous les minéraux qui constituent le *skarn*, pyroxène, grenat, etc., résultent d'une action ferrugineuse sur des calcaires ou des dolomies ; le pyroxène a pu, comme il le fait si aisément, s'ouralitiser, la hornblende s'altérer en épidote ; quand le manganèse était abondant, il y a eu production de minéraux analogues, mais manganésés. Les associations d'épidote, augite et grenat, si fréquentes dans les mines du Sud de la Suède, où les calcaires eux-mêmes sont assez abondants

(*) Voir à Grängesberg (p. 150) et à Norberg (p. 158).

au voisinage des gisements, sont rares dans les mines du Nord, où, pour une cause ou pour une autre, les calcaires font en même temps défaut et les roches encaissantes tendent à devenir siliceuses : ce qui confirme bien la relation d'origine entre ces deux groupes de formations. A Grängesberg, on en trouve très peu, seulement dans quelques mines de l'Ouest ; à Gellivara et à Kirunavara, pas du tout. Faut-il, ainsi que nous le remarquions précédemment, chercher un rapport général entre cette absence d'éléments calcaires et magnésiens dans l'opération métallurgique du métamorphisme et la richesse exceptionnelle en phosphore des minerais : le lit de fusion basique étant nécessaire pour que celui-ci se soit trouvé éliminé ?

Exceptionnellement, quelques minéraux, tels que les zéolithes de Gellivara ou les calcites relativement fréquentes pour les gisements encaissés dans les calcaires proviennent, sans doute, d'une altération le long de fissures tout à fait superficielles.

APPENDICE.

SÉPARATION DES MINERAIS DE FER ET DE L'APATITE A LULEÅ ET GRÄNGESBERG.

En raison de l'intérêt pratique que présente l'utilisation industrielle des apatites contenues dans les minerais de fer et de la nouveauté de cette industrie extractive encore peu connue, je crois utile de donner ici quelques renseignements à ce sujet.

On avait d'abord songé à exploiter les lentilles d'apatite isolées dans les minerais de fer ou les filons d'apatite de la région du Dundret (Gellivara). Des recherches faites à ce propos ayant montré que ces gisements n'en valaient pas la peine, on s'est appliqué, depuis 1897, dans l'usine

de Luleå dépendant de la société de Gellivara, à tire parti des minerais E les plus phosphoreux et les plus friables pour en extraire l'apatite par une préparation mécanique.

Le principe de l'opération est extrêmement simple : il consiste à réduire le minerai en poussière, puis à en sépare la magnétite par des électro-aimants et l'oligiste par de cribles du Hartz, ou autres appareils de préparation fondé sur les différences de densité ; il reste alors de l'apatite mêlée à un peu de feldspath, de mica et de quartz, qu'o transforme en tétraphosphate de soude et de chaux. Cett opération est toute différente du triage magnétique, qu l'on emploie à Grängesberg, où l'on se sert simplemer des électro-aimants pour séparer la magnétite du stérile ici il s'agit, avant tout, d'obtenir de l'apatite. On retire en même temps, de la magnétite pulvérulente, qui, sou cette forme, est d'une vente difficile, parce qu'étant lourd elle coule au fond des hauts fourneaux et les obstru mais que l'on cherche aujourd'hui à agglomérer en br quettes, comme on réussit à le faire à Swansea pour le pyrites grillées de Rio Tinto.

L'usine, qui appartient à une société indépendante d la Société des mines de Gellivara, mais contrôlée pa celle-ci, était en activité seulement depuis quelques mo quand je l'ai visitée en juillet 1899 ; elle passait alo environ 300 tonnes par jour, soit 100.000 tonnes de miner par an. Elle occupait 50 ouvriers en deux postes (l'un d jour, l'autre de nuit) et nécessitait une force de 750 ch vaux. Elle produisait environ 65.000 tonnes de magnéti pure, un peu d'oligiste, 15 à 20.000 tonnes de magnéti phosphoreuse à 0,6 p. 100 d'acide phosphorique et 8 10.000 tonnes de tétraphosphate calco-sodique à 21 p. 100 d'acide phosphorique soluble dans le citra d'ammoniaque.

Pour apprécier les résultats économiques de cet at

lier, il faut considérer que l'on utilise un minerai déjà abattu, qui coûte seulement, comme dépense spéciale, le prix de son transport à Luleå. La marge des bénéfices ne paraît pourtant pas être considérable.

L'usine comprend : 1° un plan incliné relevant les minerais à environ 40 mètres, pour leur permettre de descendre ensuite naturellement, et des concasseurs; 2° un atelier de grillage, criblage et séparation magnétique; 3° un atelier de préparation mécanique; 4° un atelier de traitement des apatites par la soude.

L'atelier de criblage et séparation magnétique, où la séparation par des électro-aimants se fait dans les appareils Monarch, donne, en définitive, trois produits : 1° magnétite pure; 2° magnétite retenant 0,6 d'acide phosphorique; 3° mélange d'apatite, feldspath, mica, oligiste, avec un peu de quartz, tenant 30 p. 100 d'acide phosphorique.

A la suite, l'atelier de préparation mécanique par voie humide a pour but de séparer par densité l'oligiste dans les produits fins déjà triés magnétiquement. Cet oligiste, mêlé à l'apatite, lui ferait, en effet, perdre toute valeur.

L'atelier comprend toute une série d'appareils aptes à faire la séparation sur des produits de grosseurs très diverses, depuis les grenailles jusqu'aux plus fines poussières (cribles du Hartz, tables Rittinger à secousses transversales et courant d'eau dans la longueur; tables sans fin de caoutchouc, recevant à une extrémité la lavée, qu'un courant d'eau, arrivant sur le reste de la longueur, divise en apatite entraînée et oligiste plus adhérent, et round buddles).

Finalement, on recueille : d'une part, l'oligiste; de l'autre, le mélange stérile d'apatite, feldspath, mica et quartz, qu'il reste encore à transformer en un produit marchand.

Ce dernier passe alors dans un nouvel atelier, où on le sèche dans un trommel incliné, puis on le mélange avec

30 p. 100 de carbonate de soude; on réduit le tout e poussière impalpable; on calcine pendant 4 à 5 heure dans des réverbères à 2 étages. On obtient ainsi une sorte de scorie brunâtre, que l'on reprend et à laquelle on fait subir une seconde mouture; après quoi, il ne reste plus qu'à mettre en sac.

Le produit marchand renferme, dit-on, 22,50 d'acide phosphorique à l'état de tétraphosphate calco-sodique, dont 21,5 solubles dans le citrate d'ammoniaque.

L'atelier de triage magnétique de Grängesberg, installé en 1897, et fonctionnant seulement en été (à cause du manque d'eau en hiver), a un but tout différent de celui de Luleå, où l'on cherche à obtenir des phosphates. Ici, il s'agit uniquement de séparer, d'une manière automatique, la magnétite du stérile, soit dans la poussière, soit même en fragments de toute grosseur (jusqu'à 0m,07 de diamètre), et l'on se garde de broyer le minerai, ce qui en diminuerait la valeur. On fait donc un simple classement de grosseur au moyen : 1° de grilles fixes à sec; 2° de cribles à secousse et trommels dans un courant d'eau : ce qui donne trois dimensions : moins de 15 millimètres; entre 15 et 31; entre 31 et 75; après quoi l'on passe à la préparation magnétique.

Ce traitement s'applique par jour à environ 350 tonnes (donnant 200 tonnes de minerai, 50 tonnes de poussière et 100 tonnes de stérile) : ce qui correspond à environ 30.000 tonnes de minerai par an.

Le séparateur magnétique Wenström (inventé par un Suédois) se compose de deux parties : un cylindre tournant de 0m,65 de diamètre et 0m,75 de long, formé de barres de fer doux de 1 centimètre et demi de large séparées par des cales de bois en retrait de 2 centimètres de large, et un électro-aimant fixe placé sur l'un des côtés de ce cylindre, de manière à électriser le fer doux pendant une demi-révolution seulement.

Le mélange de minerai et de stérile étant jeté sur le cylindre, du côté aimanté, la magnétite s'y accroche, tandis que le stérile tombe dans une première conduite; une demi-révolution après, la magnétite tombe dans une autre conduite.

Il existe, à Grängesberg, deux semblables appareils : l'un pour les menus, fonctionnant dans un courant d'eau; l'autre pour les fragments plus gros, travaillant à sec.

Après cette opération, le stérile subit encore un triage à la main sur des tables sans fin pour en retirer l'oligiste.

Finalement, on obtient du minerai à 60-62 p. 100 de fer et 0,70-0,80 p. 100 de phosphore, de la poussière à 58-60 p. 100 de fer et des résidus.

BIBLIOGRAPHIE.

J'ai donné autrefois, dans mes *Gîtes métallifères* (t. I, p. 702 suiv.), un certain nombre de bibliographies locales des minera de fer suédois ; quelques indications complémentaires du mêm genre ont trouvé place ici même à propos de Kirunavara, Gelli vara, etc. Les ouvrages, dont la liste suit, sont récents et relatifs soit à des études d'ensemble, soit à des gîtes dont il n'a pas ét question précédemment, notamment aux gîtes de Finlande, qu'il peut être intéressant de comparer à ceux de Scandinavie.

1891. TÖRNEBOHM, *Om Pitkäranda malmfält* (*Geol. Fören. Förh.*, XIII, p. 313-334.)

1891. SJÖGREN, *Sur la formation des minerais de fer suédois* (en suédois) (*Geol. Fören. Förh.*, 13, 1891, p. 373; résumé dans *Zeits. f. prakt. Geol.*, 1893, p. 434).

1891. VOGT, *Ueber die Sedimentation der Eisenerzlager und der Eisenglimmer schiefer* (*Salten og Ranen. Kristiania*, 1891, p. 214-224; résumé dans *Z. pr. G.*, 1894, p. 30).

1895. VOGT, *Nissedalens jernmalmforekomst Thelemarken* (*Norg. geol. Unders*, n° 17; *C. R.* dans *Z. pr. G.*, 1896, 78).

1895. TIGERSTEDT, *Om Finlands malmförekomster* (Congrès géogr. en Finlande; *C. R.* dans *Z. pr. G.*, 1895, p. 91).

1896. VOGT, *Om de lagrade jernmalms fyndigheternas Bildningssätt* (*Wermländske bergsmannaföreningers Annaler*; *C. R.* dans *Z. pr. G.*, 1897, p. 263).

1896. PETERSSON, *Geol. beskr. av. Nordmarks grufvors Odalfalt* (Stockholm, 60 p.).

1897. NORDENSTRÖM, *l'Industrie minière de la Suède en 1897.*

1897. KOLDERUP, *Fosforsyregehalten i Ekersund Soggendalsfeltsbergarter* (*Bergen, Museums Jahrb.*, 1897, n° IX, 11 p.; *C. R.* dans *Zeit. f. pr. Geol.*, 1899, p. 104).

1898. NEWBIGIN, *The siliceous iron ores of northern Norway* (*Tr. of the N. of Engl. Inst.*, t. XLVII, part. 5., Newcastle upon Tyne, p. 251 à 271).

1898. HÖGBOM, *Om de vid Sygenitbergarter bundna Jernmalmerna* (*Östra Ural geol. Fören. Förh.* n° 186, t. XX, Stockholm).

1900. O. VOGEL, *Über einige weniger bekannte Eisenerzvorkommen im nördlichen Schweden* (*Stahl und Eisen*, 20e année, p. 530 à 536 et 590 à 592).

1900. Vogt, *Eisenindustrie in Norvegen* (*Zeits. f. prakt. Geol.*, 1900, p. 329).

1901. Svenonius et Petersson, *Sur le gisement de Jukkasjärvi* (en allemand) (*Zeits. f. prakt. Geol.*, 1901, p. 149).

1901. *Prépar. magnét. à Pitkäranta en Finlande* (en allemand) (*Œst. Z. f. B. u. H.*, p. 429-431).

1902. Petersson, *Eisenerzfelder Svappavara, Leveäniemi, Mattsmorr. Mertainen, in Norrbotten, Schweden* (*B. u. H. Z.*, 1902, p. 652-654 ; cf. *Essener Glückauf*, 1900).

1902. De Celis, *Gîtes de fer suédois* (en italien) (*Revista minera*, 26 novembre 1902).

1903. Everding, *Reisebericht über eine Studienreise durch die wichtigsten Erzgebiete Skandinaviens* (*B. u. H. Z.*).

TABLE DES MATIÈRES.

BULLETIN.

LE TECHNOLEXIQUE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS. ÉTAT DES TRAVAUX EN JUIN 1903.

Les *Annales* ont publié en 1902 (10e série, t. II, p. 104) un notice sur le projet, formé au début de 1901 par la Société de ingénieurs allemands (*Verein deutscher Ingenieure*), d'un dictionnaire technique général, ou *technolexique*, en langues allemande anglaise et française. Cette grande entreprise est en bonne voie d'exécution; les détails qui suivent, communiqués par l'administration du technolexique, donnent une idée de l'état d'avancement des travaux et sont de nature à intéresser les lecteurs des *Annales;* ils pourront aussi inciter quelques personnes à donner leur concours à cette œuvre, qui intéresse tous les ingénieurs et tous les industriels.

Le projet d'un dictionnaire technique en langues allemande anglaise et française a reçu, en France et à l'étranger, de précieux encouragements. Les sociétés et les particuliers ont répondu en grand nombre à l'invitation qui leur était adressée, en envoyant des listes d'expressions techniques ou en s'engageant à collaborer à l'œuvre.

Jusqu'en juin 1903, 343 sociétés (27 françaises, 272 allemandes 44 anglaises) ont prêté leur concours, soit par la collection systématique de mots et de locutions techniques appartenant à leurs spécialités, soit par des encouragements constants (en particulier par des propagandes pour trouver des collaborateurs), soit, enfin par l'envoi de textes techniques en une ou plusieurs langues (catalogues, relevés d'inventaires, listes détaillées de pièces de machines, manuels, traités, etc.). Parmi les collaborateurs français sont compris les collaborateurs belges et les suisses français ; aux allemands se joignent les autrichiens et les suisses allemands avec les anglais, on compte les américains, les canadiens, les sud-africains, les anglo-indiens, les australiens.

Parmi les sociétés françaises qui collaborent au technolexique, on peut citer : la Société des Ingénieurs Civils de France ; l'Asso-

ciation Amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale; l'Association Amicale des Anciens Élèves de l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris; la Société Internationale des Électriciens; la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale; la Société Française de Photographie; la Société des Anciens Élèves des Arts et Métiers; la Société Industrielle d'Amiens; la Société Industrielle de l'Est, à Nancy; le Syndicat Général de l'Industrie des Cuirs et Peaux de la France, etc.

Les grandes entreprises industrielles, les ingénieurs et les techniciens ont fourni 2.262 collaborateurs; parmi les grandes industries qui ont donné leur concours en France et en Belgique on peut citer : MM. J. et A. Niclausse, à Paris; MM. Panhard et Levassor, à Paris; M. Delaunay-Belleville, à Saint-Denis; MM. Schneider et C[ie], au Creusot; l'Administration des Chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée; l'Administration des Chemins de fer de l'Est; la Fabrique nationale d'armes de guerre, à Herstal-Liège; la Société anonyme John Cockerill, à Seraing; l'Administration des Mines de Morlanwelz, près Mons; etc.

En compilant des dictionnaires comme ceux de Sachs-Villatte, de Muret-Sanders, de Tolhausen, etc., et surtout des milliers de catalogues, de prix-courants en une ou plusieurs langues, de traités, de manuels, d'inventaires, de nomenclatures de pièces mécaniques, de tarifs de douane, la rédaction du technolexique a déjà récolté 1.300.000 fiches; et, dans un délai de deux ans, viendront s'ajouter les centaines de mille fiches résultant des contributions de tous les collaborateurs. Pour noter ces contributions, la Société des Ingénieurs allemands a envoyé à ses collaborateurs un carnet de notes spécialement disposé pour l'inscription des termes techniques dans les trois langues. Ces carnets seront redemandés en 1904. Il est remarquable que, sans avoir rien réclamé, la Rédaction du technolexique a déjà reçu jusqu'à ce jour 244 carnets remplis.

Comme les notes des collaborateurs ne seront demandées qu'en 1904, on voit que tous ceux qui, en ayant le temps et l'occasion, désirent collaborer au technolexique, peuvent encore rendre ce service à leur profession. Les mots et les locutions de tous les métiers, y compris les métiers manuels, seront les bienvenus, et il est évident que de courtes contributions d'un nombre considérable de collaborateurs divers seront des plus utiles. Même les collaborations en une seule langue, qui ne sont pas suivies d'une traduction, sont très précieuses pour la Rédaction; naturellement on accueillerait mieux, si possible, les notes en deux ou trois

BULLETIN.

LE TECHNOLEXIQUE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEM/ ÉTAT DES TRAVAUX EN JUIN 1903.

Les *Annales* ont publié en 1902 (10ᵉ série, t. II, p. 10 notice sur le projet, formé au début de 1901 par la Soci ingénieurs allemands (*Verein deutscher Ingenieure*), d'un d naire technique général, ou *technolexique*, en langues alle anglaise et française. Cette grande entreprise est en bon d'exécution; les détails qui suivent, communiqués par nistration du technolexique, donnent une idée de l'état cement des travaux et sont de nature à intéresser les lecte *Annales;* ils pourront aussi inciter quelques personnes ner leur concours à cette œuvre, qui intéresse tous les ing et tous les industriels.

Le projet d'un dictionnaire technique en langues alle anglaise et française a reçu, en France et à l'étranger, de p encouragements. Les sociétés et les particuliers ont répo grand nombre à l'invitation qui leur était adressée, en en des listes d'expressions techniques ou en s'engageant à borer à l'œuvre.

Jusqu'en juin 1903, 343 sociétés (27 françaises, 272 allen 44 anglaises) ont prêté leur concours, soit par la collectio matique de mots et de locutions techniques appartenant spécialités, soit par des encouragements constants (en par par des propagandes pour trouver des collaborateurs), soit par l'envoi de textes techniques en une ou plusieurs l (catalogues, relevés d'inventaires, listes détaillées de pi machines, manuels, traités, etc.). Parmi les collaborateurs f sont compris les collaborateurs belges et les suisses frança allemands se joignent les autrichiens et les suisses alle avec les anglais, on compte les américains, les canadie sud-africains, les anglo-indiens, les australiens.

Parmi les sociétés françaises qui collaborent au technol on peut citer : la Société des Ingénieurs Civils de France ;

ciation Amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale; l'Association Amicale des Anciens Élèves de l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris; la Société Internationale des Électriciens; la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale; la Société Française de Photographie; la Société des Anciens Élèves des Arts et Métiers; la Société Industrielle d'Amiens; la Société Industrielle de l'Est, à Nancy; le Syndicat Général de l'Industrie des Cuirs et Peaux de la France, etc.

Les grandes entreprises industrielles, les ingénieurs et les techniciens ont fourni 2.262 collaborateurs; parmi les grandes industries qui ont donné leur concours en France et en Belgique on peut citer : MM. J. et A. Niclausse, à Paris; MM. Panhard et Levassor, à Paris; M. Delaunay-Belleville, à Saint-Denis; MM. Schneider et C[ie], au Creusot; l'Administration des Chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée; l'Administration des Chemins de fer de l'Est; la Fabrique nationale d'armes de guerre, à Herstal-Liège; la Société anonyme John Cockerill, à Seraing; l'Administration des Mines de Morlanwelz, près Mons; etc.

En compilant des dictionnaires comme ceux de Sachs-Villatte, de Muret-Sanders, de Tolhausen, etc., et surtout des milliers de catalogues, de prix-courants en une ou plusieurs langues, de traités, de manuels, d'inventaires, de nomenclatures de pièces mécaniques, de tarifs de douane, la rédaction du technolexique a déjà récolté 1.300.000 fiches; et, dans un délai de deux ans, viendront s'ajouter les centaines de mille fiches résultant des contributions de tous les collaborateurs. Pour noter ces contributions, la Société des Ingénieurs allemands a envoyé à ses collaborateurs un carnet de notes spécialement disposé pour l'inscription des termes techniques dans les trois langues. Ces carnets seront redemandés en 1904. Il est remarquable que, sans avoir rien réclamé, la Rédaction du technolexique a déjà reçu jusqu'à ce jour 244 carnets remplis.

Comme les notes des collaborateurs ne seront demandées qu'en 1904, on voit que tous ceux qui, en ayant le temps et l'occasion, désirent collaborer au technolexique, peuvent encore rendre ce service à leur profession. Les mots et les locutions de tous les métiers, y compris les métiers manuels, seront les bienvenus, et il est évident que de courtes contributions d'un nombre considérable de collaborateurs divers seront des plus utiles. Même les collaborations en une seule langue, qui ne sont pas suivies d'une traduction, sont très précieuses pour la Rédaction; naturellement on accueillerait mieux, si possible, les notes en deux ou trois

langues, de même que les catalogues et autres textes technique en plusieurs langues. Les envois en retard, qui parviendraien avant le commencement du tirage du dictionnaire (fin 1906 pourront encore être utilisés.

Le rédacteur en chef sera toujours heureux de donner tous le renseignements désirables. Il suffit de s'adresser au Techno lexique, Dr Hubert Jansen, Berlin (NW. 7), Dorotheenstr., 49.

Il est de nouveau fait appel aux lecteurs des *Annales* e faveur de l'entreprise du technolexique. L'envoi de quelque expressions intéressantes et peu connues, recueillies dans le mines, les usines métallurgiques, les ateliers de construction, ser d'un grand intérêt. A défaut de l'équivalent allemand ou anglai une définition bien précise suffira.

L'INDUSTRIE DU PÉTROLE
EN CALIFORNIE

Par M. CH.-E. HEURTEAU, Élève-Ingénieur des Mines.

La production du pétrole en Californie a considérablement augmenté dans les six dernières années, par suite de la découverte et de la mise en œuvre de centres d'exploitation nouveaux. De 1880 à 1895, l'accroissement de la production avait été régulier, et elle avait atteint le chiffre de 1.200.000 barils (barrels); en 1896, elle sembla rester stationnaire; mais la progression reprit, bien plus considérable, en 1897. C'est surtout dans les deux dernières années qu'elle a été rapide, comme le montre le tableau suivant :

	Barrels (*)
1895......	1.208.000
1896......	1.252.777
1897......	1.903.411
1898......	2.257.207
1899......	2.642.095
1900......	4.324.484
1901......	8.786.330
1902......	13.692.514

La production de la Californie se rapproche donc de celle des vieux États producteurs de l'Est, de l'Ohio avec ses 23 millions, de la Pensylvanie et de la West Virginia avec leurs 14 millions de barils. Au Texas, l'accroissement de la production a été non moins remarquable. Elle a passé de 4 millions, en 1901, à plus de 15 millions, en 1902. Grâce à ces nouveaux États, les États-Unis

(*) Le barrel vaut 159 litres.

auront peut-être repris, en 1902, le premier rang pour l
production du pétrole dans le monde, rang que la Russi
détenait depuis 1898. En 1900, elle produisait 85 million
de barils contre 62 pour les États-Unis.

Ce développement de l'industrie du pétrole en Califor
nie est intéressant à plusieurs points de vue. D'abord ce
nouvelles couches pétrolifères, d'âge et d'allures variés
présentent dans un territoire assez restreint et avec asse
de continuité les différents caractères stratigraphique
remarqués jusqu'ici dans des gisements disséminés su
toute la surface du globe. Aussi l'étude des couches cali
forniennes permettra-t-elle peut-être mieux aux géo
logues d'arriver à une doctrine définitive sur l'origine d
pétrole et sa distribution dans les couches. Puis l
nature de ce pétrole ne le rendant pas propre au
usages ordinaires d'éclairage et de graissage, mais e
faisant, par contre, un excellent combustible liquide, l
Californie, qui jusque-là ne brûlait qu'un combustible im
porté et cher, s'est vue à même de transformer son indus
trie et de la développer, ce qu'elle n'a pas tardé à faire
Enfin l'Europe doit s'intéresser à ce mouvement à u
autre point de vue encore, car il en est résulté l'empl
presque exclusif du pétrole dans les locomotives de Cal
fornie et des régions voisines : or, grâce au pétrole d
Texas, dont nous dirons un mot, et qui est très analogue
celui de Californie, peut-être le pétrole pourra-t-il êtr
employé économiquement comme combustible dans plu
sieurs pays européens.

M. Dallemagne, Consul général de France, a récen
ment envoyé de San-Francisco un rapport très intéressa
sur le pétrole californien (*), qui a été communiqué par le

(*) Les renseignements contenus dans ce rapport sont extraits, moins pour la plus grande partie, d'un travail de M. W.-L. Watt, *Oil and gas yielding formations of California*, publié par le *Californ State Mining Bureau*.

soins du Ministre des Affaires Étrangères à la Commission des *Annales des mines*. C'est dans ce rapport, ainsi que dans des publications et des ouvrages américains et français que nous signalerons à mesure, que nous avons recueilli les matériaux de la présente note.

Nous allons d'abord indiquer la place des régions pétrolifères sur une carte de Californie pour montrer leur relation avec la topographie et l'orographie générales de la région. Puis nous décrirons les terrains pétrolifères, en donnant les renseignements que nous avons pu recueillir sur la succession des couches, leur nature et leur âge. Enfin, après une revue des différents centres d'exploitation et l'indication de leur capacité de production, nous étudierons la nature du pétrole californien et les usages auxquels il a été employé.

I.

Carte générale de la Californie et location des couches pétrolifères.

1° **Orographie.** — La Californie moyenne (voir la carte *fig.* 1, Pl. IX), comprise entre les 35° et 40° de latitude N., se divise très aisément en quatre grandes régions naturelles(*). Elles sont limitées par des lignes presque parallèles dirigées N. 31° W. et distantes de 90 kilomètres environ. Leur longueur est de près de 600 kilomètres. La plus orientale de ces lignes suit la côte du Pacifique ; à partir d'elle, on distingue quatre régions qui se succèdent vers l'Ouest. La première est la Sierra de la Côte (Coast Range), au milieu de laquelle se creuse la baie de San-Francisco ; puis vient la Grande Vallée de Californie, parcourue au Nord par le Sacramento, qui coule vers le

(*) *Geol. Survey of California.* — *Géologie*, par Whitney.

Sud-Est, et au Sud par le San Joaquin, qui coule vers le Nord-Ouest; ces deux fleuves se réunissent à la hauteur de la baie de San-Francisco pour s'y jeter. La troisième région est celle de la Sierra Nevada, qui s'élève graduellement au-dessus de la Grande Vallée pour monter jusqu'à plus de 4.000 mètres. Enfin, la dernière région est formée de hauts plateaux sableux et salés, avec une série de lacs alignés sur la direction générale N. 31°W. Au Nord, la Sierra de la Côte et la Sierra Nevada se rejoignent vers le 40°. De même au Sud vers le 35°, la Grande Vallée cesse. Au delà est un ensemble de chaines et de vallées dirigées Est-Ouest et dans lequel viennent aboutir la Sierra Nevada et la Sierra de la Côte, sans qu'il y soit possible de les distinguer l'une de l'autre autrement que par des considérations géologiques. C'est la région très plissée de la Californie du Sud, dont la capitale est Los Angeles.

2° **Géologie.** — Après cette vue sur l'orographie de la Californie, examinons rapidement les formations géologiques qui la constituent. D'après les travaux des géologues américains (*), voici comment se sont déposés les différents étages et par quels accidents ils sont affectés :

Le jurassique relevé par la Sierra Nevada n'apparait en Californie que sur son flanc Ouest en couches presque verticales pendant vers l'Est, qui paraissent former le flanc Est d'un grand pli synclinal rejeté et couché vers l'Ouest par la Sierra Nevada (**) ; ce jurassique forme dans le Nord de l'État le terrain aurifère (Gold Belt). Le crétacé s'est déposé sur tout l'espace occupé actuellement par la Sierra de la Côte et la Grande Vallée. Il repose, à l'Est, en couches à peine soulevées sur la tranche des couches jurassiques. Dans la Sierra de la Côte, de formation pos-

(*) Whitney, *ibid.* — *La Grande Vallée de Californie* (*Bulletin* n° 14 *de l'Université de Californie*).
(**) Suess, t. II.

térieure, il est au contraire bouleversé; ses couches y sont très épaisses. L'éocène (*) et le miocène ont une allure analogue, mais ils s'étendent moins loin au Nord. On ne retrouve pas de couches tertiaires au delà du 40°; l'Orégon et le Nord de la Californie étaient émergés avant leur dépôt. Mais, plus au Sud, les mers éocène et pliocène recouvraient toute la Sierra de la Côte et la Grande Vallée. Après le miocène, des mouvements du sol se produisent; jusque-là la série crétacée, éocène et miocène, ne montre aucune discordance. Mais le pliocène qui va se déposer dans les mêmes régions est en discordance sur elle. La Sierra de la Côte s'est soulevée par ilots, laissant encore de nombreux chenaux par où la mer pliocène arrivait à la Grande Vallée. Pendant le pliocène et surtout à la fin de cette période, la Sierra de la Côte continue son mouvement d'émersion en formant des chaines dirigées vers le Nord-Ouest, qui finissent par isoler la Grande Vallée de la mer. En même temps, au Sud, se produisent les plissements Est-Ouest, qui ont affecté la région de Los Angeles, en formant les Sierras du Sud de l'Etat. Dans ces Sierras et dans celle de la Côte, les couches pliocènes sont donc bouleversées comme les précédentes, mais elles sont en légère discordance sur elles par suite d'un premier mouvement d'émersion post-miocène.

On trouve donc, en résumé, des couches crétacées et tertiaires presque horizontales sur le bord Est de la Grande Vallée; elles sont redressées sur son bord Ouest et profondément bouleversées dans la Sierra de la Côte, région difficile d'accès et encore très mal connue. Au Sud, elles sont affectées de plissements très nombreux aussi, mais de bien moins grande amplitude, qui sont séparés par des

(*) Les ouvrages américains que nous avons pu consulter ne distinguent pas l'oligocène de l'éocène.

vallées abordables et beaucoup mieux étudiées. C'est dans ces couches crétacées et tertiaires que se trouve le pétrole. On a trouvé de l'asphalte et des suintements de pétrole en un très grand nombre de points sur leurs affleurements, et c'est à proximité de ces points que se sont concentrés les centres d'exploitation.

Centres pétroliers. — Les anciens centres, qui jusqu'en 1897 fournissaient la majeure partie de la production, se trouvent le long des plissements du Sud de l'État, sur les anticlinaux Est-Ouest de la région de Los Angeles. Là les principaux groupes de puits sont : le groupe de *Puente Hills*, sur les deux flancs de l'anticlinal qui constitue la Sierra Santa Anna ; celui de *Los Angeles*, situé dans la ville même, sur le flanc Sud de la Sierra Santa Monica ; celui du comté de *Ventura*, qui s'étend sur le flanc Nord de la Sierra Santa Susanna, et sur des anticlinaux moins réguliers situés au Nord de la rivière Santa Clara ; enfin celui de *Summerland*, dont les meilleurs sondages ont été faits sous l'Océan dans des couches qui s'appuient sur le flanc Sud de la Sierra Santa Inès.

Les nouveaux gisements sont situés plus au Nord, dans la partie régulière de la Californie centrale, sur les bords Est et Ouest de la Grande Vallée. Sur le bord Est est le grand centre de *Kern River*, qui a fourni, l'an dernier, les deux tier de la production de l'État. Là les couches pétrolifères sont à peu près horizontales, pendant très légèrement à l'Ouest. Sur le bord Ouest de la Vallée, en face de Kern River, sont les deux groupes de *Mac-Kittrick* et de *Sunset*, séparés par celui de *Midway*, peu développé encore. Là encore, malgré la proximité des premiers escarpements de la Sierra de la Côte, les couches sont horizontales. A 140 kilomètres au Nord, du même côté de la Vallée, est le groupe de *Coalinga*, qui tire son pétrole de couches très redressées.

Les groupes que nous venons de passer en revue sont les seuls qui soient vraiment productifs. Il faut signaler cependant d'autres affleurements reconnus dans le prolongement des précédents vers le Nord. Il y a de nombreux suintements et quelques puits à *Colusa*, sur le bord Ouest de la Vallée. Les couches riches y sont d'âge crétacé. Tout au Nord, près de Shasta, là où les deux Sierras se rejoignent, on a trouvé des imprégnations d'huile minérale. Ainsi, sur les 600 kilomètres de longueur de Sunset à Shasta, le flanc Ouest de la Grande Vallée est jalonné de suintements de pétrole plus ou moins abondants. Il y a encore des indications de pétrole sur la côte, au Nord de San-Francisco, à la baie de Bolinas, à la pointe Arena et jusqu'au comté de Humboldt au Nord.

En résumé, les exploitations de pétrole productives se trouvent : d'une part, le long de plusieurs rangées d'anticlinaux parallèles et peu larges, sur un seul de leurs flancs ou sur les deux, dans le Sud de l'État ; d'autre part, dans les couches qui forment le sous-sol de la Grande Vallée, dans la partie horizontale de ces couches, à l'extrémité Sud de la Vallée, et dans leur partie redressée, plus au Nord.

II.

Terrains pétrolifères.

Les renseignements géologiques sur les couches pétrolifères ne sont pas très abondants. Ceux qui suivent ont été extraits, pour la plupart, d'un rapport de M. W.-L. Watts, publié par le *Geological Survey* des États-Unis en 1900.

La région la mieux connue est celle du Sud (voir la carte *fig.* 2, Pl. IX), où l'on retrouve, dans les couches de Puente Hills, de Los Angeles et de Ventura, une série

assez constante. Le niveau pétrolifère le plus élevé y est un conglomérat avec fossiles néogènes, surtout pliocènes. Ce conglomérat ne contient du pétrole que par places ; en effet, au-dessous se trouve une assise de schistes, dont la partie supérieure est imperméable et qui n'a laissé passer le pétrole que par quelques fractures. Il y a discordance entre le conglomérat et ces schistes. Cette discordance correspond-elle à la discordance générale entre le pliocène et le miocène, ou bien s'est-elle produite pendant le pliocène ? C'est ce qu'il est difficile de savoir, car les fossiles des schistes sont indiqués comme néogènes, sans spécification. La partie supérieure des schistes est, comme nous l'avons dit, imperméable ; mais les parties moyenne et inférieure sont interstratifiées avec des bancs de sables et de grès pétrolifères. Les bancs inférieurs sont les niveaux les plus riches de la région. Au-dessous de ces schistes on trouve un grès blanchâtre miocène qui contient aussi du pétrole.

Ces trois termes : conglomérat, schistes, grès, forment une série constante dans toute la région ; le pétrole s'y trouve à toutes les hauteurs, mais surtout vers la base des schistes. C'est de cette zone, limite du miocène et du pliocène, qu'est tirée la majeure partie du pétrole de Puente Hills, de Los Angeles et de la Sierra Santa Susanna.

Au Nord de la rivière Santa Clara, cette série existe encore et est productive, mais elle est prolongée en profondeur par d'autres couches pétrolifères. Le grès blanchâtre y repose sur des schistes gris et blancs, qui deviennent plus foncés vers leur base, et où sont intercalés des lentilles ou de minces couches de calcaires bitumineux. Les fossiles y sont miocènes et éocènes. Au-dessous est une mince couche de grès fauve ; puis viennent un grès brun, un grès blanc et un grès jaunâtre, tous plus ou moins schisteux et contenant tous des fos-

siles éocènes. Dans cet ensemble, le pétrole se trouve dans le grès brun et le grès fauve, en majeure partie, et aussi dans la partie inférieure des schistes foncés, c'est-à-dire probablement dans l'éocène uniquement. On ne remarque, d'ailleurs, là aucune discordance entre l'éocène et le miocène, qui permette de les distinguer facilement.

Pour les nouveaux bassins de la Grande Vallée, les renseignements sont encore moins nombreux. A Kern River, le pétrole est dans un sable lâche, miocène, surmonté par de l'argile. Son épaisseur, très irrégulière, varierait de 6 à 150 mètres. A Sunset et à Mac Kittrick, le niveau est le même. A Coalinga, il y a plusieurs couches pétrolifères, toutes très redressées. La meilleure, qui est la plus profonde, est formée de sable très lâche avec des excavations où est emmagasiné du gaz. Ce sable a été rattaché à la période éocène. A Colusa, les couches pétrolifères sont crétacées.

Dans toutes ces couches, le pétrole se trouve dans des grès ou des sables lâches recouverts par des schistes, ou dans des grès interstratifiés avec la partie inférieure de ces schistes imperméables. De là est venue l'hypothèse que le pétrole, formé plus profondément, avait distillé sous l'action de la chaleur interne et s'était élevé vers les couches supérieures en profitant des fractures, s'arrêtant sous les couches imperméables pour se répandre dans les couches poreuses sous-jacentes jusqu'à ce qu'il trouvât une nouvelle fracture pour s'élever encore. Finalement, il s'est condensé dans les couches supérieures, plus froides. Cela ne préjuge rien sur l'origine même du pétrole, qu'elle soit organique ou minérale. Le pétrole, dans ce mouvement d'ascension, s'est concentré dans les parties relevées des couches où le poussait le poids des terrains sus-jacents. Il est remonté jusqu'au sommet des synclinaux et, là où ceux-ci étaient brisés, il est venu apparaître à l'affleurement; en s'y oxydant, il a donné

des dépôts d'asphalte considérables et déjà très anciennement exploités, dont la formation a généralement empêché le pétrole de se répandre au dehors.

III.

Description des champs pétrolifères (*).

1° **Puente Hills.** — Le pétrole s'y rencontre sur les deux flancs de la Sierra Santa Anna, à 20 kilomètres à l'Est de Los Angeles (voir la carte de détail, *fig.* 2, Pl. IX). La crête est formée par un synclinal dont la voûte a été plus ou moins enlevée. Cet anticlinal se poursuit avec quelques déviations et élargissements sur 15 kilomètres de longueur. Il y a plusieurs groupes de puits productifs échelonnés sur la crête de l'Est à l'Ouest. A *Whittier*, les puits sont sur le flanc Sud et traversent le conglomérat et les schistes. Il y a eu, en 1902, 76 puits productifs qui ont donné 543.450 barils, soit 18 barils par puits et par jour. La profondeur de ces puits varie quand ils s'éloignent de l'anticlinal, elle est en moyenne de 300 mètres. Plus loin est le groupe de *Puente Hills* proprement dit, le plus anciennement exploité. Il a produit, en 1902, 126.900 barils avec 45 puits (8 barils par puits et par jour). Ils sont près du bord et sur la pente Nord de la voûte sans s'en écarter beaucoup. Le dernier groupe est celui de *Brea Canion*, sur la voûte même de l'anticlinal. C'est le plus récent de cette série et le plus productif. En 1902, ses 98 puits ont donné 1.201.909 barils (37 par puits et par jour). Leur profondeur va jusqu'à 750 mètres. Grâce au développement de Whittier et de Brea Canion, la pro-

(*) Les renseignements statistiques ont été recueillis dans l'*Engineering and Mining Journal* et dans le *Journal du Pétrole*.

duction de ce synclinal a suivi ces dernières années la marche suivante :

	Barils
1900......	720.000
1901......	1.700.000
1902......	1.872.259

Actuellement, il a été reconnu et percé sur toute sa longueur. Il y a encore au Nord-Est de petits plissements accolés où on a reconnu des affleurements du grès pétrolifère, sans qu'on ait effectué de sondage jusqu'à présent. Le prix du forage, dans cette région, varie de 60 à 120 francs le mètre courant.

2° **Los Angeles.** — Les puits se trouvent dans la ville elle-même, au milieu du quartier des villas, qui a été abandonné aux sondeurs dès la découverte du pétrole. Ils sont répartis sur une ligne droite dirigée Est-Ouest. Les couches pétrolifères pendent vers le Sud, relevées et plissées par la Sierra Santa Monica, qui est au Nord; elles sont recouvertes par un épais dépôt quaternaire (*fig.* 1). Les sondages ont traversé le terrain quater-

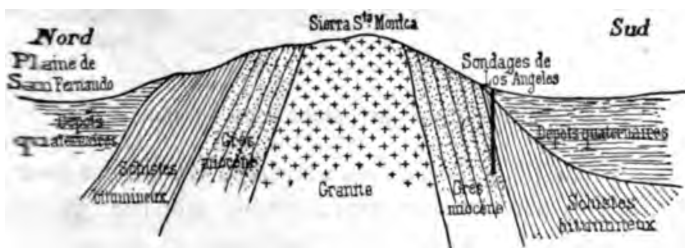


Fig. 1. — Coupe de la Sierra Santa Monica.

naire et sont arrivés dans les schistes bitumineux, au milieu desquels ils ont rencontré un premier niveau de sable pétrolifère à 180 mètres de profondeur; puis, ils

sont arrivés au véritable grès pétrolifère, à une profondeur de 300 à 360 mètres, suivant leur emplacement. Le sondage est relativement bon marché, de 17 à 60 francs le mètre courant. Les puits s'échelonnent sur une ligne de près de 4 kilomètres de long sur 500 mètres de largeur. Il y avait là, en 1902, 926 puits productifs, c'est-à-dire 4,6 par hectare. Aussi leur rendement est-il très faible : 3,2 barils par jour. La production est constante depuis cinq ou six ans et voisine de 1.100.000 barils. Des sondages effectués au Nord et au Sud de la ligne productive ont été abandonnés sans avoir rien produit.

3° **Ventura.** — Sous ce nom nous pouvons réunir plusieurs groupes situés sur le flanc Nord de la Sierra Santa Susanna et dans une région très bouleversée, sans direction générale de plissement, qui se trouve au Nord de la rivière Santa Clara.

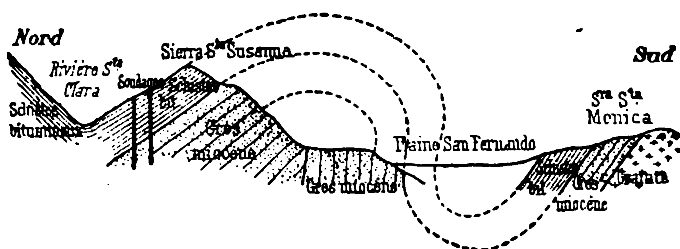


Fig. 2. — Coupe de la Sierra Santa Susanna.

La coupe de la Sierra Santa Susanna est donnée par la *fig.* 2. Les puits y rencontrent l'huile minérale dans le grès, après avoir traversé les schistes.

Au Nord de la rivière, malgré le nombre et l'enchevêtrement des plissements des couches, on peut distinguer un relèvement général vers le Nord, qui ramène l'éocène près de la surface et permet d'en exploiter les niveaux précédemment décrits pour cette région. Le pé-

trole est extrait sur trois ou quatre synclinaux de directions très différentes des précédents. L'ensemble de ces puits, au nombre de 376, a fourni, en 1902, 609.000 barils. Les puits de la Sierra Santa Susanna sont les plus anciens et ne produisent plus beaucoup. Les champs du Nord de la rivière sont les plus récents. Là le prix du sondage est plus élevé que partout ailleurs, ne descendant jamais au-dessous de 90 francs le mètre et montant souvent à 120 francs. La profondeur des puits est en moyenne de 300 mètres ; elle va jusqu'à 600 mètres.

4° **Summerland.** — Les sondages de Summerland se trouvent au bord même de l'Océan. Les couches pétrolifères (*fig.* 3) s'y redressent le long de la Sierra Santa Inès ; on les a atteintes sur terre en traversant les dépôts

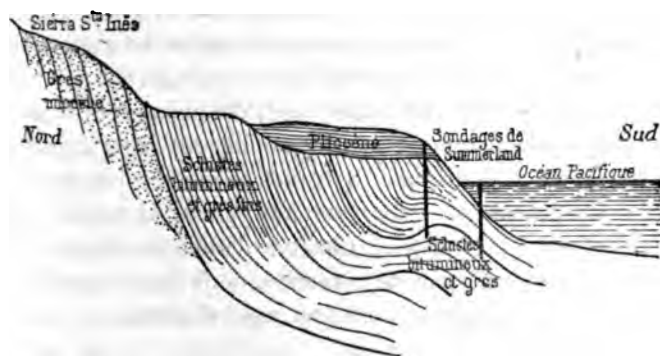


Fig. 3. — Coupe du rivage à Summerland.

pliocènes horizontaux qui les recouvrent. D'autres sondages, faits dans la mer même, sont entrés de suite dans les schistes bitumineux. Les puits sont tous groupés sur un territoire restreint qui a une longueur de 1.500 mètres, Est-Ouest, le long du rivage, avec une largeur de 180 mètres sur terre et de 90 mètres sous l'eau. Dans

tout ce territoire, les puits ont été bons ; ils correspondent peut-être à un repli des couches pétrolifères qui, comme la coupe l'indique, sont là profondément bouleversées. D'autres sondages ont été faits plus avant dans la mer, et quelques-uns ont réussi. Les meilleurs puits sont situés à 250 mètres du rivage. Ces sondages sous-marins exigent l'installation de jetées continues, ce qui ne permet d'explorer le sous-sol que sur un petit nombre de lignes. Le pétrole vient de deux niveaux : à terre, on exploite surtout le niveau supérieur, qu'on atteint à des profondeurs de 40 à 90 mètres. En mer, ce niveau contient beaucoup d'eau ; on exploite l'inférieur, d'ailleurs plus épais (7m,50 à 22 mètres) et plus riche. Les sondages productifs vont là jusqu'à 150 mètres de profondeur. On en a tenté, au bout des jetées, qui ont jusqu'à 470 mètres, mais sans succès jusqu'à présent. Enfin on s'occupe d'explorer le sous-sol des îles Santa Cruz, Santa Rosa et San Miguel, qui se trouvent à 40 kilomètres au large et contre lesquelles on pense que les couches pétrolifères se redressent.

Il y a actuellement, à Summerland, 228 puits, dont la production journalière moyenne est seulement de 1,2 baril. Le sondage n'y coûte que 21 francs le mètre, le prix de la jetée non compris. Pour les 228 puits, il n'y a que 11 machines d'épuisement. Chacune d'elles est attelée sur un gros câble qui, par des ramifications nombreuses et des séries de poulies, actionne une vingtaine de tiges de pompe.

5° **Kern River.** — C'est le plus grand centre de production de la Californie et aussi un des plus nouveaux, puisque le pétrole n'y fut découvert en abondance qu'en mai 1899. Jusque-là on n'avait vu que des suintements le long de la rivière Kern. Le premier puits fut creusé au pic et à la pelle ; arrivé à une profondeur de 18 mètres, il fut rempli par un flot de pétrole. Quelques mois après, on

fit à côté un sondage de 105 mètres, qui donna régulièrement depuis lors 30 barils par jour. On a fait des recherches autour de ce centre dans toutes les directions, et aujourd'hui le territoire reconnu productif a une longueur de 9 kilomètres dirigée vers le Nord-Ouest, et une largeur de 6 à 7. Les limites de la région productive sont très nettes, et on n'a rencontré que des échecs en essayant de les franchir. Le sol est formé de sables quaternaires recouvrant des argiles; au-dessous est le sable pétrolifère. Son épaisseur varie entre des limites très étendues, de 6 à 150 mètres, sa base étant à une profondeur à peu près constante (*). En rapprochant ce fait de sa délimitation très nette en plan, on pourrait supposer que le sable pétrolifère a été réduit par l'érosion à cet îlot, dont la surface a été ravinée et dénivelée, puis recouverte par l'argile. Quoi qu'il en soit, la teneur en pétrole est très homogène et très élevée. Elle est de 10 p. 100 normalement, et en quelques points s'élève à 25 pour 100. Dans le territoire reconnu, on n'avait pas noté d'insuccès jusqu'en 1902. De vastes espaces de terrain y ont été retenus par les Compagnies, mais n'ont pas encore été mis en valeur, de sorte que la région peut encore augmenter sa production. On estime que l'hectare tient là 250.000 barils; c'est le chiffre obtenu en supposant au sable pétrolifère une épaisseur moyenne de 40 mètres et une teneur de 10 p. 100. Voici quelles ont été les productions annuelles depuis l'origine :

	Barils
1899........	15.000
1900........	892.500
1901........	4.493.455
1902........	8.648.109

En 1902, il y a eu 322 puits, produisant chacun jour-

(*) Le même fait se présente dans le grand champ de pétrole de Beaumont (Texas).

nellement 73 barils. Leur profondeur varie de 45 à 135 mètres. Le prix du sondage est de 60 francs par mètre.

6° **Mac Kittrick.** — Ce territoire était déjà connu depuis longtemps par l'exploitation de l'asphalte. L'attention s'est portée sur lui aussitôt après la découverte du pétrole à Kern River, qui n'est distant que de 100 kilomètres. On a trouvé deux niveaux horizontaux, l'un à 150 mètres, l'autre à 300 mètres de profondeur; celui du bas est le plus riche, ce qui est d'ailleurs une règle générale vérifiée dans tous les pays. Entre les deux niveaux d'huile est un niveau d'eau qui arrêta longtemps les sondages. Le premier sondage qui atteignit le niveau inférieur donna une source jaillissante, ou *gusher*, qui débita 2.000 barils les premiers jours et se maintint ensuite à 100 barils. En 1902, la production du champ a été de 597.000 barils avec 37 puits en activité (production journalière, 47 barils).

7° **Sunset.** — Sunset est à 50 kilomètres au Sud-Est de Mac Kittrick et sur le même alignement au bord de la Grande Vallée. Les couches de pétrole y sont horizontales et à peu près à la même profondeur qu'à Mac Kittrick. En 1902, il y avait là 24 puits qui ont donné 142.630 barils, soit 17 par puits et par jour.

Entre Sunset et Mac Kittrick se trouvent les sondages de *Midway*, dont deux ont été productifs dès 1902 et ont donné 50.180 barils, soit plus de 70 barils par puits et par jour, moyenne très élevée, mais qui n'a rien de surprenant pour les premiers sondages faits dans un champ intact.

8° **Coalinga.** — En 1893, on y découvrit des suintements de pétrole le long d'une rivière. Ce ne fut que deux ans

plus tard que l'on fit des sondages. Un des premiers d'entre eux donna un gusher fameux, le Blue Goose, qui produisit régulièrement 1.000 barils par jour pendant plusieurs semaines et redescendit ensuite à une production constante de 200 barils. Le sable pétrolifère, très lâche, contient là beaucoup de gaz, ce qui produit ces jaillissements. Il arrive que le jaillissement cesse subitement pour reprendre non moins subitement, à une époque imprévue, quand une nouvelle poche de gaz vient à se vider.

Le territoire pétrolifère a la direction générale Nord-Ouest ; il s'étend le long de l'affleurement des couches, qui sont là très relevées, avec des pendages qui vont jusqu'à 60° vers l'Est. Le sable pétrolifère a une épaisseur très variable. Ces deux circonstances, forte inclinaison et variation d'épaisseur, font que le sondage y est une opération assez aléatoire, et, malgré des indications très favorables tout le long de l'affleurement des couches, les sondages sont restés groupés au voisinage des points où dès le début ils ont été fructueux. L'opération est assez chère, d'ailleurs, 90 francs à 120 francs le mètre courant. Quant à la profondeur des puits, elle varie naturellement très vite avec leur distance de l'affleurement ; les limites pratiques sont 150 et 500 mètres ; les meilleurs puits sont les plus profonds. Voici les productions de ces dernières années :

	Barils
1899.........	154.000
1900.........	439.372
1901.........	532.000
1902.........	504.545

La production journalière par puits, en 1902, a été de 72 barils, c'est-à-dire très voisine de celle de Kern River.

Pour résumer cette revue rapide des champs de pétrole californiens, voici un tableau de leur production des quatre dernières années, avec le prix, la profondeur et le rendement des sondages.

CENTRES de production	PRODUCTION EN BARILS 1899	1900	1901	1902	PRIX du sondage au mètre courant en francs	PROFONDEUR des sondages en mètres	RENDEMENT moyen par puits et par jour en 1902, en barils
Los Angeles....	1.032.000	1.730.263	2.188.633	1.074.655	17 à 60	300 à 360	3,2
Whittier	377.000			543.450	60 à 120	300 à 750	18
Puente Hills....	108.077	372.200	724.565	126.900			8
Brea Canion....	»			1.201.909			37
Ventura........	496.200	418.000	463.127	609.000	90 à 120	150 à 600	6
Summerland (*)..	208.370	153.750	135.960	94.900	21	60 à 150	1,2
Kern River.....	15.000	892.000	4.493.450	8.648.109	60	45 à 135	73
Mac Kittrick....	»	»		597.600	»	300	45
Sunset.........	»	»		142.630	»	»	17
Midway........	»	»	»	50.180	»	»	70
Coalinga.......	154.000	439.372	532.000	504.545	90 à 120	150 à 600	72

(*) Avec le reste du comté de Santa Barbara.

IV.

Nature du pétrole de Californie.

Le pétrole californien est essentiellement lourd et à base asphaltique. Ces deux caractères le distinguent des pétroles pensylvanien et russe.

Le pétrole de Pensylvanie et de l'Ohio a une densité voisine de 0,80 (soit 42° à 45° B.). Celui de Bakou varie de 0,85 à 0,87, soit 30° à 35° B. En Californie, la presque totalité des pétroles ont une densité très supérieure à celles-là, comme le montre ce tableau :

Districts	Degrés Baumé	Densité moyenne
Kern River...........	14° à 16°	0,96
Les Angeles et Puente Hills................	12° à 18°	0,96

Districts	Degrés Baumé	Densité moyenne
Ventura..............	14° à 32°	0,92
Mac Kittrick..........	20° à 33°	0,88
Summerland..........	8° à 16°	0,96
Coalinga..............	27° à 35°	0,87

Comme Kern River et la région de Los Angeles produisent à eux seuls 11 millions de barils sur un total de 13 millions et demi, on voit que le pétrole très lourd, de densité 0,96, forme la plus grande partie de la production.

Chimiquement, ces pétroles se distinguent non moins nettement des pétroles de l'Est en ce qu'ils ne contiennent pas de paraffine. Les résidus de la distillation n'en montrent pas trace. Ils contiennent, par contre, beaucoup d'asphalte et de corps analogues. La composition élémentaire du pétrole montre une forte proportion de carbone :

	C	H	O	Az	S
Los Angeles............	86,9	11,8	»	1,10	»
Ventura................	84	12,7	1,2	1,7	0,4
Oil Creek (Pensylvanie)..	82	14,8	3,2	»	»

Le pétrole californien, contenant moins d'hydrogène et plus de carbone que celui de Pensylvanie, donne une flamme beaucoup plus fumeuse.

La séparation des composés chimiques qui constituent le pétrole est, en Californie, une opération très délicate en raison de l'instabilité de plusieurs d'entre eux. C'est la présence de l'asphalte, c'est-à-dire des produits qui s'en dégagent à la distillation, qui en est cause. Aussi, au début de l'exploitation du pétrole, la difficulté d'isoler par la distillation des produits définis a restreint beaucoup les opérations des raffineries, et la presque totalité du pétrole n'y passait pas. Ces dernières années, on est, paraît-il, parvenu à distiller économiquement le pétrole californien. En se débarrassant de l'asphalte avant la distillation, on évite d'avoir à prendre toutes les précautions qui jusque-là avaient compliqué l'opération. Quelques-uns des nou-

veaux champs, comme Mac Kittrick et Coalinga, donnent d'ailleurs un pétrole beaucoup plus facile à distiller que les autres. Voici deux exemples du pourcentage des produits recueillis pendant la distillation :

Degrés centigrades	Ventura pétrole brut 25° B.	Los Angeles pétrole brut 14°,2 B.
Au-dessous de 150°......	7,30	traces
De 150° à 330°...........	19,50	6
De 330° à 360°...........	25,00	17,5
Au-dessus de 360°.......	35,80	51,5
Asphalte et pertes.......	12,40	25

En Pensylvanie, on classe comme essences de pétrole tout ce qui distille au-dessous de 150°; comme huiles lampantes, ce qui passe de 150° à 290°; comme huiles de graissage et huiles lourdes, ce qui vient après. En Russie, où le pétrole est plus lourd, les huiles lampantes s'arrêtent dès 280° ou 285°. En Californie, il faut donc les compter encore plus bas. Aussi, pour le pétrole de Los Angeles, type du pétrole californien, il n'y a pour ainsi dire pas d'huile lampante, puisque au-dessous de 330° il n'a passé que 6 p. 100. Les huiles lourdes forment 69 p. 100 au moins, et l'asphalte 20 p. 100 du pétrole brut.

La région de Ventura, dont le pétrole est plus léger, donne aussi plus d'huile lampante et d'essence. Pour 100 barils d'huile minérale mélangée provenant des divers districts de cette région, on recueille en moyenne dans les raffineries :

	Barils
Gazoline 76° B.........	3
Benzine 63° B..........	4
Huiles lampantes......	23
Huiles lourdes.........	54
Asphalte brute.........	11
Pertes.................	5

A Coalinga, le pétrole est plus léger encore et voisin

de celui de Bakou; on obtient à la distillation:

Gazoline........................	18 à 20 p. 100
Kérosène ou huiles lampantes.....	47 à 48
Huile lourde pour combustible....	13 à 10
Benzine et goudron..............	22

Signalons qu'à Colusa le pétrole est tout différent. Il ne contient pas d'asphalte, se distille très bien et donne beaucoup d'huile lampante. Si ce champ, encore intact, se développe, il comblera une lacune importante dans la série des produits du pétrole californien.

V.

Usages du pétrole en Californie.

Les usages auxquels on a pu employer le pétrole de Californie dérivent de sa nature même. La difficulté à le distiller a fort restreint jusqu'ici les usages qui exigent un raffinage.

Pour ce qui est des essences, quand il y en a dans le pétrole, elles sont de bonne qualité, et supérieures, parait-il, à celles de Pensylvanie, pour l'emploi dans les moteurs.

L'huile lampante, nous l'avons dit, est en très faible quantité. D'ailleurs, on n'a pu en obtenir de pure; elle a toujours en Californie une flamme fuligineuse et une odeur désagréable. Les huiles lubréfiantes sont de bonne qualité.

La plus grande partie du pétrole, les 5/6 au moins, n'est pas raffinée; on le consomme à l'état brut, soit comme combustible, soit pour l'asphaltage des routes.

Parlons tout de suite de ce dernier usage, assez restreint d'ailleurs jusqu'ici en Californie même, mais dont il a été fait des expériences ces deux dernières années en Europe et notamment en France. On arrose les routes avec du pétrole brut : au lieu de se concentrer dans les creux et de les augmenter comme le ferait l'eau, le pétrole

tend au contraire à égaliser la surface ; il se mélange avec le sable de la route en donnant une masse légèrement plastique et homogène. Cela tient à la forte proportion d'asphalte que contient le pétrole californien. On a essayé différentes qualités de pétrole, et on a reconnu que le meilleur est celui qui contient de 24 à 40 p. 100 d'asphalte. C'est donc un pétrole voisin de ceux de Kern River et de Los Angeles. Avec un pétrole plus léger, il n'y a pas prise avec le sable ; le pétrole se comporte comme le ferait de l'eau et s'évapore sans résultat. Voici comment on procède à l'opération : sur une route poussiéreuse comme le sont celles de Californie (sur une route en gravier l'effet du pétrole serait nul), on commence par rejeter de la terre prise aux accotements, puis on herse le tout. Après quoi on arrose avec du pétrole chauffé (le pétrole froid fait prise beaucoup moins régulièrement et donne des boules). Il faut cinq applications de pétrole pour avoir une bonne route ; chacune des deux premières années, on fait deux applications ; la troisième année, on n'en fait qu'une. Les consommations de pétrole, par kilomètre, pour une route large de 3m,60, sont :

1re application..................	5.500 litres	
2e —	3.760 —	
3e, 4e et 5e applications, chacune.	3.600 —	au maximum

soit, au total, 19 à 20.000 litres, ou, environ, 120 à 126 barils.

Pour une route de 5m,50, la dépense est proportionnellement moindre ; elle monte à 162 barils par kilomètre.

Les routes ainsi traitées ont une surface unie et solide, sans aucune poussière ; elles résistent bien à une pluie courte. Mais, à l'époque des pluies prolongées, une boue épaisse finit par se former ; elle est corrosive pour les vêtements et même pour la peinture des voitures qui en sont éclaboussées. Aussi le pétrolage des routes doit-il être proscrit des endroits habités.

C'est comme combustible qu'est employée la majeure partie du pétrole californien, surtout pour la production de vapeur dans les locomotives, les chaudières fixes ou les chaudières marines. On commence à le brûler aussi dans les fours de fusion, dans les usines métallurgiques ou les verreries.

Sa valeur, comme combustible, dépend essentiellement de son pouvoir calorifique. Une série d'expériences a été faite par M. W. L. Watts pour l'État de Californie. Les chiffres trouvés par lui ont varié de 9.991 à 10.381 calories par kilogramme de pétrole. D'autres essais ont donné :

	Calories au kilogr.
Pétrole de Los Angeles 13° B..	10.203
Pétrole à 16° 1/2 B...........	9.800
Pétrole de Summerland 12° B.	9.688

Comparé pratiquement au charbon, le pétrole donne des résultats très concordants. Jusqu'ici c'est surtout aux charbons de Nanaïmo (île de Vancouver) et de Gallup (New Mexico) qu'il a été comparé. Le charbon de Nanaïmo a 6.684 calories au kilogramme. D'après les chiffres cités plus haut, le nombre de barils équivalant à une tonne de charbon devrait varier entre 3,5 et 4. C'est en effet ce que l'expérience a trouvé, montrant ainsi que la combustion du pétrole dans les locomotives se fait très parfaitement. Voici les résultats obtenus par les deux grandes Compagnies de chemins de fer de Californie et quelques autres consommateurs. Comme équivalent d'une tonne de charbon :

Le Southern Pacific Railway brûle.....	3 à 4	barils
Le Santa Fé Railroad brûle...........	3,60 à 4	—
La Cie des tramways électriques de Los Angeles brûle..................	3,62	—
La Chambre de justice de Los Angeles, pour le chauffage à la vapeur, brûle..	3,10	—
Les Selby Works, dans les fours à cuivre et à plomb, brûlent..........	3,50	—

Sur le vapeur *Mariposa*, qui a fait aller et retour la traversée de San Francisco à Tahiti en brûlant du pétrole, on a eu comme équivalent 4,16 ; mais la vitesse ayant pu être, avec le pétrole, supérieure à celle qu'on obtenait avec le charbon, ce chiffre est trop élevé.

Ce sont les chemins de fer qui sont jusqu'à présent les plus gros consommateurs. Le Southern Pacific Rw. emploie le pétrole comme combustible sur la plus grande partie de ses trois grandes lignes qui, de San Francisco, rayonnent au Nord vers le Canada, à l'Est vers Salt Lake City et le Mississipi, au Sud vers Los Angeles et la Nouvelle-Orléans. Au bout de cette dernière ligne, il peut s'approvisionner encore en pétrole au Texas. Entre les deux champs d'huile de Los Angeles et de Beaumont (Texas), celui-ci aussi situé sur la ligne, la distance est de 2.720 kilomètres. Le Southern Pacific a plus de 500 locomotives au pétrole. Le Santa Fé Rr., qui, de San Francisco, gagne la vallée du Mississipi en contournant par le Sud la Sierra Nevada et les Montagnes Rocheuses, brûle du pétrole jusqu'à Seligman, à 750 kilomètres de Los Angeles. Au delà il brûle du charbon de Gallup (New Mexico) situé sur la ligne à 450 kilomètres plus loin.

Les tenders récents du Southern Pacific peuvent contenir 79 barils de pétrole et 174 d'eau, ce qui suffit pour 480 kilomètres. Le pétrole dans le réservoir est sous une pression de 27 centimètres de mercure pour faciliter l'écoulement vers les brûleurs.

Le brûleur du Santa Fé Rr. est à double orifice. Le pétrole arrive du tender par une valve réglable et débouche dans l'orifice supérieur (75 millimètres sur 13 millimètres). De l'orifice inférieur (90 millimètres sur 8), sort une nappe de vapeur qui entraîne le pétrole. L'air de la combustion entre par le cendrier. Le brûleur du Southern Pacific Rw. présente trois orifices : en haut, débouche le pétrole ; au milieu, l'air ; en bas, la vapeur. L'air de la

combustion vient aussi en partie par le cendrier. La boîte à feu est toujours briquetée, tant pour protéger les tôles que pour faciliter le rallumage du pétrole après arrêt, grâce à la haute température des briques.

Le pétrole qui convient le mieux aux brûleurs de locomotive marque de 15° à 18° B. Quand on veut avoir un combustible de degré déterminé, il faut rejeter les mélanges obtenus en combinant une huile naturelle trop légère avec un produit quelconque de raffinerie plus lourd. Le pétrole fourni doit être le produit brut d'une source unique, car un mélange forme des dépôts dans les réservoirs. Les produits lourds ajoutés se séparent en boules et en grumeaux qui obstruent les conduites.

Il y a une économie considérable à employer le pétrole à la place de la houille. En Californie, le charbon revient au moins à 20 francs la tonne. Pour le pétrole, son prix varie assez souvent, et diffère en tout cas suivant la clientèle. Les Compagnies de chemins de fer, gros clients réguliers (*), et qui, surtout, possèdent des réservoirs à eux, doivent payer un prix voisin de ceux qu'on fait aux Compagnies propriétaires de réservoirs et de pipelines, chargées du traitement et de la vente du pétrole. Ces prix sont descendus jusqu'à 1 franc le baril à Kern River et sont, en moyenne, de 1 fr. 50. Les Compagnies de chemins de fer feraient donc une économie de 15 francs par tonne de charbon employée précédemment. Pour les autres industries, le prix de vente du pétrole est beaucoup plus élevé; il a été, en moyenne, de 4 francs l'an dernier, ce qui correspond encore à une économie de 4 à 6 francs par tonne de charbon. Aussi non seulement les anciennes industries californiennes ont transformé leur outillage de façon à profiter de ces avantages, mais de nouvelles indus-

(*) La consommation du Southern Pacific, en 1902, a été évaluée à 5.900.000 barils, et celle du Santa Fé à 1.500.000.

tries de transformation de produits bruts ou demi-ouvrés se fondent à portée du nouveau combustible. Les Compagnies de navigation de la baie de San Francisco et du Sacramento transforment leurs chaudières pour l'emploi du pétrole. Les fours de fusion sont munis de brûleurs qui permettent d'obtenir au-dessus du bain liquide exactement la flamme que l'on veut, d'une longueur qui peut aller de $0^m,20$ à $2^m,20$ et d'une nature chimique, réductrice ou oxydante, qui peut varier à volonté et sans les à-coups que le chargement du charbon sur les grilles produisait autrefois.

VI.

Organisation du transport et du traitement du pétrole.

Jusqu'à ces dernières années, où la production ne dépassait pas 2 millions de barils, le marché du pétrole californien était purement local. Celui qui devait être raffiné l'était sur place, notamment à Newhall, dans le district de Ventura. Le pétrole brut était conduit par de courtes pipelines aux réservoirs situés sur les lignes de chemins de fer, qui en consommaient la presque totalité. Aujourd'hui que les clients du pétrole sont dispersés dans toute la Californie et que le centre de la consommation s'est transporté de Los Angeles à San Francisco, il a fallu y amener le pétrole brut et y construire, par suite, des raffineries.

La Standard Oil Company, qui, par la construction des pipelines, avait déjà imposé son monopole en Pensylvanie, a entrepris en Californie aussi cette organisation. Elle a acquis les vieilles raffineries du sud de l'État et en a construit quelques autres là, notamment à Bakersfield pour le pétrole de Mac Kittrick, facile à distiller. Mais surtout elle en a élevé de nouvelles près de San Francisco. Elle

a construit les réservoirs dans les districts nouveaux de Kern River, Mac Kittrick, etc., et passé des contrats avec les principales Compagnies productrices. Enfin la Standard Oil s'est occupée du transport du pétrole.

Les districts de Los Angeles et des régions avoisinant la mer envoient leur pétrole à San Francisco par une flotte de bateaux-réservoirs. Les districts de la Grande Vallée, c'est-à-dire les plus importants maintenant, n'avaient jusqu'ici à leur disposition que les deux lignes de chemins de fer qui la parcourent jusqu'à San Francisco et qui appartiennent toutes deux au Southern Pacific Rw. Les producteurs de cette région étaient ainsi, d'une part, à la merci du Southern Pacific Rw. et, d'autre part, dans un état d'infériorité notable vis-à-vis des producteurs du Sud, qui expédiaient leur pétrole par mer. Pour remédier à cette situation, la Standard Oil a entrepris la construction, entre Kern River et Port Richmond, près San Francisco, d'une pipeline de 448 kilomètres de long. Malgré la pente naturelle, il faudra 12 stations de pompes, distantes de 35 kilomètres en moyenne. Les tuyaux auront 20 centimètres de diamètre. Rappelons que de Pittsburg à Philadelphie le pétrole est pompé dans des tuyaux de 15 centimètres seulement, par des stations distantes de 64 kilomètres, et cela jusqu'au faite des Alleghenys; puis il descend jusqu'à la mer par son propre poids. L'augmentation du nombre des pompes et du diamètre des tuyaux en Californie tient à la densité très forte et à la viscosité de son pétrole. Le capital d'établissement de cette pipeline a été évalué à 15 millions de francs, et on estime qu'il sera très largement rémunéré par un tarif de 0 fr. 35 par baril pour le parcours complet. Le débit journalier sera de 10.000 barils. Le travail devait être fini en janvier dernier; chaque jour, 3.500 mètres de tuyaux étaient mis en place.

Cette initiative de la Standard Oil a fait capituler les Compagnies de chemins de fer. Actuellement le Southern

Pacific et le Santa Fé construisent de concert une ligne qui de Kern River ira passer par Sunset, jusque-là isolé des voies ferrées, et ira aboutir sur la côte à Port-Hartford, donnant ainsi aux nouveaux districts l'accès de l'Océan.

Là ne se borne pas le rôle de la Standard Oil. Elle a rempli la Californie d'agents, qui vont prêchant aux industriels les mérites du pétrole comme combustible et leur offrent le concours de leur expérience pour l'aménagement des chaudières et des fours et l'instruction du personnel. Elle a acheté une flotte de bateaux-réservoirs destinés à traverser le Pacifique et à aller porter le nouveau combustible en Extrême Orient et en Océanie ; elle s'est enfin entendue avec les Compagnies de navigation, qui avaient le monopole de la vente du pétrole des Iles de la Sonde.

Il faut en effet développer la consommation du pétrole en Californie et l'envoyer au loin, si l'on veut faire face à d'énormes productions, comme celle de l'année dernière. La consommation de combustible de la Californie est assez facile à évaluer. Sa production de charbon est très faible :

1899.......	160.715 tonnes
1900.......	171.708 —
1901.......	151.059 —
1902.......	175.000 —

Il ne peut en venir des États situés à l'Est à cause de la distance. Tout le charbon qui entre vient par mer. San Francisco en importait jusqu'en 1902 à peu près régulièrement près de 2 millions de tonnes :

1899....	1.740.027 tonnes
1900....	1.889.128 —
1901....	1.834.785 —
1902....	1.445.598 —

Los Angeles et San Diego en reçoivent ensemble

250.000 tonnes tout compris ; la Californie brûlait donc, jusqu'en 1901, moins de 2.300.000 tonnes de charbon. En 1902, elle n'en brûlait plus que 1.900.000 tonnes. Cette quantité de charbon peut être remplacée par 8 à 9 millions de barils de pétrole. Or depuis 1899, la production de pétrole a augmenté exactement de 11 millions de barils ; l'importation de charbon ne cessant pas brusquement, il y a donc un gros excédent de combustible, et il a fallu en développer la consommation sur place ou en exporter.

VII.

Comparaison entre le pétrole de la Californie et celui du Texas.

De tout ce que nous avons dit sur le pétrole californien, il résulte qu'on est là en présence d'un gisement tout différent de ceux des États de l'Est, Pensylvanie et Ohio, et du Canada ; les couches pétrolifères de ceux-ci sont en effet très anciennes et donnent un pétrole très léger et très riche en huiles lampantes, d'un raffinage facile et rémunérateur. Le gisement californien se rapproche davantage de ceux d'Europe par l'âge et l'allure des couches. Sur tout le pourtour extérieur des Carpathes, en Galicie et en Roumanie, on trouve le pétrole dans des couches plissées dont l'âge varie du crétacé au pliocène (les plus riches sont du miocène supérieur) et dont l'allure ressemble beaucoup à celles de Los Angeles et de Ventura. A Bakou, le pétrole est aussi tertiaire, comme à Taman. Mais ce qui distingue de ces gisements celui de Californie, c'est la nature de l'huile minérale, asphaltique et lourde, qui ne la rend propre qu'à la combustion immédiate, et c'est ce qui fait que la Californie crée, au point de vue économique, un nouveau type de gisement. Il est curieux de remar-

quer que, ces deux dernières années, très peu de temps donc après la Californie, s'est développé, en Amérique également, un nouveau champ pétrolifère qui est précisé-

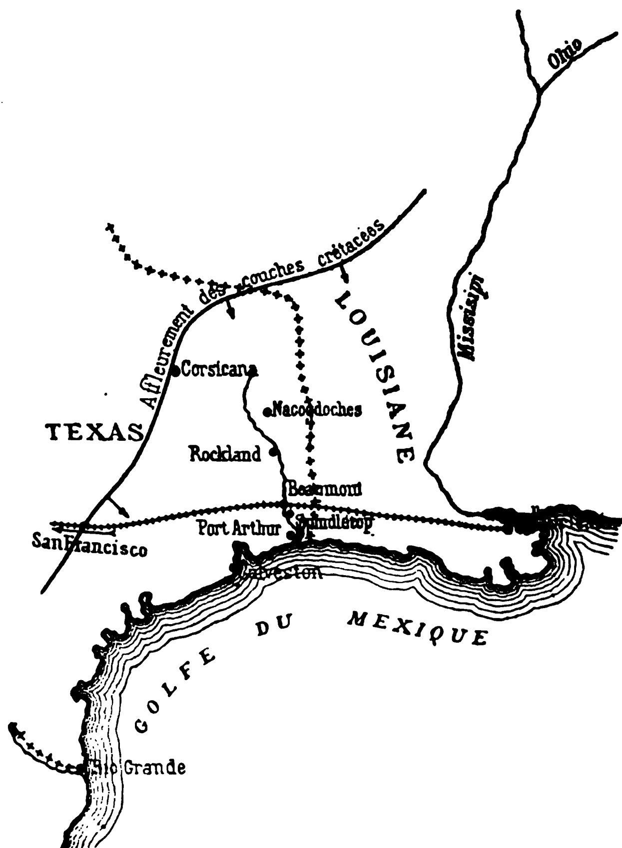


Fig. 4. — Carte de la région pétrolifère du Texas.

ment du même type. C'est celui du Texas, dont nous croyons intéressant de résumer ici les principaux traits, comme pendant à ceux que nous avons relevés en Californie.

Le nouveau champ de pétrole du Texas (*) est situé à

(*) Les renseignements sur le Texas ont été empruntés spécialement

6 kilomètres au Sud de *Beaumont* (*fig.* 4) et à 45 kilomètres au Nord de la côte du golfe du Mexique. Inconnu avant 1901, il a produit, en 1902, plus de 15 millions de barils. Avant lui il y avait dans le Nord du Texas un autre centre de production, mais d'importance beaucoup moindre, à *Corsicana*. La production, nulle en 1894, s'y est élevée, en 1901, à 826.000 barils et est restée à peu près constante depuis. Les sables pétrolifères y sont intercalés dans des marnes du crétacé supérieur, qui reposent sur la craie d'Austin et qui ont une pente de 1 p. 100 vers le Sud-Est. Le pétrole de Corsicana est, pour la plus grande partie, léger (38° à 39° B.) et, dans les raffineries, donne 60 p. 100 d'huile d'éclairage. Il est donc tout à fait analogue à celui de Pensylvanie.

L'huile minérale de Beaumont vient d'un horizon supérieur et est beaucoup plus lourde. Les terrains crétacés, dont les affleurements traversent l'État du Nord-Est au Sud-Ouest en passant par Corsicana, avec une pente légère vers le Sud-Est, sont recouverts de ce côté par une grande épaisseur de dépôts tertiaires et quaternaires. Comme en Californie, il y a là concordance des terrains jusqu'à la période néogène moyenne. A cette époque (*), il s'est produit là aussi des plissements qui, en quelques points, font reparaître le crétacé. Ces plissements sont beaucoup moins marqués et plus larges qu'en Californie ; leur direction est Nord-Est au lieu d'être Nord-Ouest, comme de l'autre côté des Montagnes Rocheuses.

Dans ces terrains tertiaires, on avait rencontré plusieurs indications de pétrole. A *Nacogdoches*, depuis une dizaine d'années, on obtient environ 10.000 barils d'un pétrole asphaltique et lourd (23° B.), tiré d'un niveau

---

à un travail de M. G. I. Adams, publié dans le *Bulletin* 184 du *Geol. Survey des Etats-Unis* ; — aux *Transactions of the Amer. Inst. of Mining Engineers*, de 1901 ; — et aux périodiques déjà cités.

(*) Suess, t. II.

éocène inférieur, à 25 ou 30 mètres de profondeur. Ce pétrole, très sulfureux, est utilisé comme lubréfiant. A Rockland, plus au Sud, il y a aussi des suintements de pétrole ; mais on n'y a pas fait de sondage. Les grands sondages productifs de Beaumont n'ont d'ailleurs pas été creusés d'après des indications de surface. Ils ont été chercher le pétrole directement en profondeur, dans les parties riches, et le sondage du Lucas Gusher a atteint le sable pétrolifère, le 10 janvier 1901, à 348 mètres de profondeur. La violence du jet entraîna 6 tonnes du tubage, qui sortit du puits de 90 mètres et se cassa. La production alla en croissant jusqu'au troisième jour, où elle était de 3.000 barils par heure. On ne put en devenir maître par un bouchon à valve que le neuvième jour. La pression était de plus de 7 atmosphères. De nombreux sondages ont été faits tout autour sur la hauteur dite *Spindle top*. Le territoire pétrolifère reconnu productif n'a pas plus de 3 ou 4 kilomètres dans sa plus grande dimension.

Le pétrole y imprègne un sable lâche, rencontré à des profondeurs assez variables malgré la presque horizontalité des couches inférieures et supérieures. La formation pourrait être, là, comme à Kern River en Californie, un îlot de sable et de grès respecté par les mers postérieures et recouvert par elles de marnes ; on a essayé de placer la hauteur de Spindle top sur l'alignement d'un anticlinal régulier, mais on n'y est pas encore parvenu.

Le jet de pétrole a amené au jour du sable avec des coquilles. Ces coquilles, très brisées, ont permis seulement de fixer l'âge de ce sable à la période tertiaire ; mais l'examen des couches sus-jacentes a permis de le préciser. Jusqu'à 51 mètres de profondeur, on a traversé des argiles bleues et jaunes mêlées de sable, qui appartiennent à la formation quaternaire dite Coast Clay. Des sables et des graviers mêlés d'argile et de concrétions ferrugi-

neuses leur ont succédé jusqu'à 105 mètres. C'est le facies ordinaire de l'Orange Sand, qui forme le pliocène supérieur dans ces régions. Puis on est entré dans des schistes, des argiles et des sables contenant des concrétions et des veines de calcaire et se prolongeant jusqu'au sable pétrolifère, à 348 mètres. Cette dernière formation ressemble tout à fait à l'assise de Lagarto, du pliocène inférieur, qui, là comme partout où on la rencontre, se distingue par des fragments de calcaire cristallisé et des fossiles roulés des terrains inférieurs. Le pétrole serait donc à la base du pliocène.

Comme le pétrole de Californie, celui de Beaumont est lourd et asphaltique. Sa densité est de 0,925, soit 21° B. On n'a pu le distiller que difficilement, à cause des produits dérivés de l'asphalte. Voici ce qu'on a obtenu :

DEGRÉS CENTIGRADES	P. 100 PAR RAPPORT au pétrole brut	DENSITÉ
150 à 200	6	0,851
200 à 250	13,5	0,867
250 à 300	28	0,886
300 à 400	50	0,914
Résidu et pertes	2,5	

Les produits qui passent au-dessous de 300° sont beaucoup plus lourds qu'en Californie et ne peuvent servir à l'éclairage.

La composition élémentaire est :

	p. 100
C............	84,60
H............	10,90
O............	2,87
S............	1,63

Ce qui distingue ce pétrole de celui de Californie, c'est sa forte teneur en soufre, qui monte souvent jusqu'à 2,5 p. 100 et qui est très nuisible dans ses différents usages.

La production de Beaumont est assez difficile à connaître exactement. Il n'y a de statistique officielle que pour le pétrole expédié par rails ou par mer; le stock n'est estimé qu'assez approximativement. En 1901, la production a été évaluée à 4.190.000 barils. En 1902, voici comment on la décompose :

	Barils
Pétrole expédié par rails ou par mer..........	9.128.154
Consommation locale........................	500.000
Perte......................................	400.000
Augmentation du stock au 31 décembre 1902..	6.105.000
	16.133.154

Le stock est emmagasiné pour la plus grande partie dans des réservoirs de fer, qui ont une capacité totale de 6 millions de barils. On avait imaginé de creuser de grandes fosses dans la terre pour s'en servir comme réservoirs ; mais cela n'a pas réussi.

La principale Compagnie productrice, le Guffey Petroleum Co, a construit une grande raffinerie à Port-Arthur, sur le golfe du Mexique. Le pétrole destiné à servir de combustible doit lui-même être débarrassé de son soufre.

Le pétrole est très employé sur les locomotives du Texas. Néanmoins, avec les hauts prix exigés l'an dernier, il n'a pu encore remplacer le charbon de Pensylvanie et d'Ohio, qui arrive en Louisiane par le Mississipi à assez bon compte.

On cherche surtout à le transporter par mer, sur la côte de l'Atlantique, et en Europe, notamment en Angleterre où le petrole ne paye pas de droit d'entrée et où on espère pouvoir en développer l'emploi sur les locomotives en concurrence avec la houille anglaise.

Il serait difficile de calculer, dès maintenant, quel doit être le prix du pétrole du Texas rendu aux ports anglais. Indiquons seulement que le cours du baril de pétrole brut

a été en moyenne de 1 fr. 50 au Texas l'an dernier. Au port d'embarquement du pétrole, le prix de l'équivalent en pétrole d'une tonne de charbon serait donc, au plus, de 6 francs. A ce prix, il faudrait ajouter le prix du fret jusqu'aux ports anglais, non pas pour 1 tonne, mais pour 580 kilogrammes seulement. En France, le pétrole brut est taxé d'un droit de 9 francs par 100 kilogrammes, ce qui grèverait de 52 fr. 50 l'équivalent d'une tonne de charbon.

La « Shell Navigation Company », qui est anglaise, a, jusqu'à présent, le monopole du transport du pétrole. Elle s'occupe de creuser le Sabine Lake, sur lequel est Port-Arthur, et le chenal qui le réunit au golfe du Mexique pour le rendre accessible aux grands bateaux-réservoirs de 50.000 barils.

Si la fortune des champs pétrolifères de Californie et du Texas continue quelque temps encore, ils alimenteront bientôt de combustible toute la partie méridionale et occidentale des États-Unis et les côtes les plus éloignées de l'Atlantique et du Pacifique.

tries de transformation de produits bruts ou demi-ouvrés se fondent à portée du nouveau combustible. Les Compagnies de navigation de la baie de San Francisco et du Sacramento transforment leurs chaudières pour l'emploi du pétrole. Les fours de fusion sont munis de brûleurs qui permettent d'obtenir au-dessus du bain liquide exactement la flamme que l'on veut, d'une longueur qui peut aller de 0m,20 à 2m,20 et d'une nature chimique, réductrice ou oxydante, qui peut varier à volonté et sans les à-coups que le chargement du charbon sur les grilles produisait autrefois.

VI.

Organisation du transport et du traitement du pétrole.

Jusqu'à ces dernières années, où la production ne dépassait pas 2 millions de barils, le marché du pétrole californien était purement local. Celui qui devait être raffiné l'était sur place, notamment à Newhall, dans le district de Ventura. Le pétrole brut était conduit par de courtes pipelines aux réservoirs situés sur les lignes de chemins de fer, qui en consommaient la presque totalité. Aujourd'hui que les clients du pétrole sont dispersés dans toute la Californie et que le centre de la consommation s'est transporté de Los Angeles à San Francisco, il a fallu y amener le pétrole brut et y construire, par suite, des raffineries.

La Standard Oil Company, qui, par la construction des pipelines, avait déjà imposé son monopole en Pensylvanie, a entrepris en Californie aussi cette organisation. Elle a acquis les vieilles raffineries du sud de l'État et en a construit quelques autres là, notamment à Bakersfield pour le pétrole de Mac Kittrick, facile à distiller. Mais surtout elle en a élevé de nouvelles près de San Francisco. Elle

a construit les réservoirs dans les districts nouveaux de Kern River, Mac Kittrick, etc., et passé des contrats avec les principales Compagnies productrices. Enfin la Standard Oil s'est occupée du transport du pétrole.

Les districts de Los Angeles et des régions avoisinant la mer envoient leur pétrole à San Francisco par une flotte de bateaux-réservoirs. Les districts de la Grande Vallée, c'est-à-dire les plus importants maintenant, n'avaient jusqu'ici à leur disposition que les deux lignes de chemins de fer qui la parcourent jusqu'à San Francisco et qui appartiennent toutes deux au Southern Pacific Rw. Les producteurs de cette région étaient ainsi, d'une part, à la merci du Southern Pacific Rw. et, d'autre part, dans un état d'infériorité notable vis-à-vis des producteurs du Sud, qui expédiaient leur pétrole par mer. Pour remédier à cette situation, la Standard Oil a entrepris la construction, entre Kern River et Port Richmond, près San Francisco, d'une pipeline de 448 kilomètres de long. Malgré la pente naturelle, il faudra 12 stations de pompes, distantes de 35 kilomètres en moyenne. Les tuyaux auront 20 centimètres de diamètre. Rappelons que de Pittsburg à Philadelphie le pétrole est pompé dans des tuyaux de 15 centimètres seulement, par des stations distantes de 64 kilomètres, et cela jusqu'au faîte des Alleghenys; puis il descend jusqu'à la mer par son propre poids. L'augmentation du nombre des pompes et du diamètre des tuyaux en Californie tient à la densité très forte et à la viscosité de son pétrole. Le capital d'établissement de cette pipeline a été évalué à 15 millions de francs, et on estime qu'il sera très largement rémunéré par un tarif de 0 fr. 35 par baril pour le parcours complet. Le débit journalier sera de 10.000 barils. Le travail devait être fini en janvier dernier; chaque jour, 3.500 mètres de tuyaux étaient mis en place.

Cette initiative de la Standard Oil a fait capituler les Compagnies de chemins de fer. Actuellement le Southern

Pacific et le Santa Fé construisent de concert une ligne qui de Kern River ira passer par Sunset, jusque-là isolé des voies ferrées, et ira aboutir sur la côte à Port-Hartford, donnant ainsi aux nouveaux districts l'accès de l'Océan.

Là ne se borne pas le rôle de la Standard Oil. Elle a rempli la Californie d'agents, qui vont prêchant aux industriels les mérites du pétrole comme combustible et leur offrent le concours de leur expérience pour l'aménagement des chaudières et des fours et l'instruction du personnel. Elle a acheté une flotte de bateaux-réservoirs destinés à traverser le Pacifique et à aller porter le nouveau combustible en Extrême Orient et en Océanie ; elle s'est enfin entendue avec les Compagnies de navigation, qui avaient le monopole de la vente du pétrole des Iles de la Sonde.

Il faut en effet développer la consommation du pétrole en Californie et l'envoyer au loin, si l'on veut faire face à d'énormes productions, comme celle de l'année dernière. La consommation de combustible de la Californie est assez facile à évaluer. Sa production de charbon est très faible :

1899.......	160.715 tonnes
1900.......	171.708 —
1901.......	151.059 —
1902.......	175.000 —

Il ne peut en venir des États situés à l'Est à cause de la distance. Tout le charbon qui entre vient par mer. San Francisco en importait jusqu'en 1902 à peu près régulièrement près de 2 millions de tonnes :

1899....	1.740.027 tonnes
1900....	1.889.128 —
1901....	1.834.785 —
1902....	1.445.598 —

Los Angeles et San Diego en reçoivent ensemble

250.000 tonnes tout compris ; la Californie brûlait donc, jusqu'en 1901, moins de 2.300.000 tonnes de charbon. En 1902, elle n'en brûlait plus que 1.900.000 tonnes. Cette quantité de charbon peut être remplacée par 8 à 9 millions de barils de pétrole. Or depuis 1899, la production de pétrole a augmenté exactement de 11 millions de barils ; l'importation de charbon ne cessant pas brusquement, il y a donc un gros excédent de combustible, et il a fallu en développer la consommation sur place ou en exporter.

VII.

Comparaison entre le pétrole de la Californie et celui du Texas.

De tout ce que nous avons dit sur le pétrole californien, il résulte qu'on est là en présence d'un gisement tout différent de ceux des États de l'Est, Pensylvanie et Ohio, et du Canada ; les couches pétrolifères de ceux-ci sont en effet très anciennes et donnent un pétrole très léger et très riche en huiles lampantes, d'un raffinage facile et rémunérateur. Le gisement californien se rapproche davantage de ceux d'Europe par l'âge et l'allure des couches. Sur tout le pourtour extérieur des Carpathes, en Galicie et en Roumanie, on trouve le pétrole dans des couches plissées dont l'âge varie du crétacé au pliocène (les plus riches sont du miocène supérieur) et dont l'allure ressemble beaucoup à celles de Los Angeles et de Ventura. A Bakou, le pétrole est aussi tertiaire, comme à Taman. Mais ce qui distingue de ces gisements celui de Californie, c'est la nature de l'huile minérale, asphaltique et lourde, qui ne la rend propre qu'à la combustion immédiate, et c'est ce qui fait que la Californie crée, au point de vue économique, un nouveau type de gisement. Il est curieux de remar-

quer que, ces deux dernières années, très peu de temps donc après la Californie, s'est développé, en Amérique également, un nouveau champ pétrolifère qui est précisé-

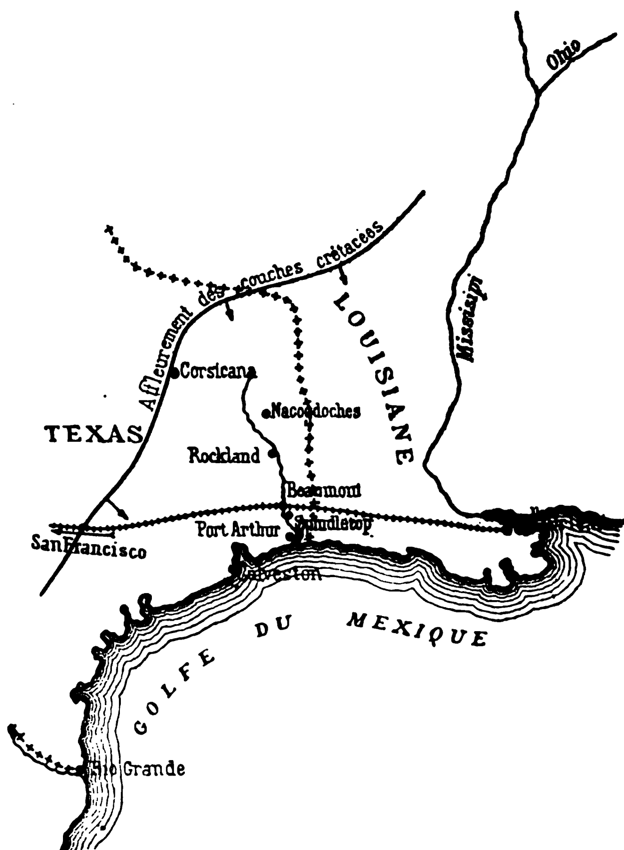


Fig. 4. — Carte de la région pétrolifère du Texas.

ment du même type. C'est celui du Texas, dont nous croyons intéressant de résumer ici les principaux traits, comme pendant à ceux que nous avons relevés en Californie.

Le nouveau champ de pétrole du Texas (*) est situé à

(*) Les renseignements sur le Texas ont été empruntés spécialement

6 kilomètres au Sud de *Beaumont* (*fig.* 4) et à 45 kilomètres au Nord de la côte du golfe du Mexique. Inconnu avant 1901, il a produit, en 1902, plus de 15 millions de barils. Avant lui il y avait dans le Nord du Texas un autre centre de production, mais d'importance beaucoup moindre, à *Corsicana*. La production, nulle en 1894, s'y est élevée, en 1901, à 826.000 barils et est restée à peu près constante depuis. Les sables pétrolifères y sont intercalés dans des marnes du crétacé supérieur, qui reposent sur la craie d'Austin et qui ont une pente de 1 p. 100 vers le Sud-Est. Le pétrole de Corsicana est, pour la plus grande partie, léger (38° à 39° B.) et, dans les raffineries, donne 60 p. 100 d'huile d'éclairage. Il est donc tout à fait analogue à celui de Pensylvanie.

L'huile minérale de Beaumont vient d'un horizon supérieur et est beaucoup plus lourde. Les terrains crétacés, dont les affleurements traversent l'État du Nord-Est au Sud-Ouest en passant par Corsicana, avec une pente légère vers le Sud-Est, sont recouverts de ce côté par une grande épaisseur de dépôts tertiaires et quaternaires. Comme en Californie, il y a là concordance des terrains jusqu'à la période néogène moyenne. A cette époque (*), il s'est produit là aussi des plissements qui, en quelques points, font reparaître le crétacé. Ces plissements sont beaucoup moins marqués et plus larges qu'en Californie; leur direction est Nord-Est au lieu d'être Nord-Ouest, comme de l'autre côté des Montagnes Rocheuses.

Dans ces terrains tertiaires, on avait rencontré plusieurs indications de pétrole. A *Nacogdoches*, depuis une dizaine d'années, on obtient environ 10.000 barils d'un pétrole asphaltique et lourd (23° B.), tiré d'un niveau

---

à un travail de M. G. I. Adams, publié dans le *Bulletin* 184 du *Geol. Survey des Etats-Unis*; — aux *Transactions of the Amer. Inst. of Mining Engineers*, de 1901 ; — et aux périodiques déjà cités.

(*) Suess, t. II.

éocène inférieur, à 25 ou 30 mètres de profondeur. Ce pétrole, très sulfureux, est utilisé comme lubréfiant. A Rockland, plus au Sud, il y a aussi des suintements de pétrole ; mais on n'y a pas fait de sondage. Les grands sondages productifs de Beaumont n'ont d'ailleurs pas été creusés d'après des indications de surface. Ils ont été chercher le pétrole directement en profondeur, dans les parties riches, et le sondage du Lucas Gusher a atteint le sable pétrolifère, le 10 janvier 1901, à 348 mètres de profondeur. La violence du jet entraîna 6 tonnes du tubage, qui sortit du puits de 90 mètres et se cassa. La production alla en croissant jusqu'au troisième jour, où elle était de 3.000 barils par heure. On ne put en devenir maître par un bouchon à valve que le neuvième jour. La pression était de plus de 7 atmosphères. De nombreux sondages ont été faits tout autour sur la hauteur dite *Spindle top*. Le territoire pétrolifère reconnu productif n'a pas plus de 3 ou 4 kilomètres dans sa plus grande dimension.

Le pétrole y imprègne un sable lâche, rencontré à des profondeurs assez variables malgré la presque horizontalité des couches inférieures et supérieures. La formation pourrait être, là, comme à Kern River en Californie, un îlot de sable et de grès respecté par les mers postérieures et recouvert par elles de marnes ; on a essayé de placer la hauteur de Spindle top sur l'alignement d'un anticlinal régulier, mais on n'y est pas encore parvenu.

Le jet de pétrole a amené au jour du sable avec des coquilles. Ces coquilles, très brisées, ont permis seulement de fixer l'âge de ce sable à la période tertiaire ; mais l'examen des couches sus-jacentes a permis de le préciser. Jusqu'à 51 mètres de profondeur, on a traversé des argiles bleues et jaunes mêlées de sable, qui appartiennent à la formation quaternaire dite Coast Clay. Des sables et des graviers mêlés d'argile et de concrétions ferrugi-

neuses leur ont succédé jusqu'à 105 mètres. C'est le facies ordinaire de l'Orange Sand, qui forme le pliocène supérieur dans ces régions. Puis on est entré dans des schistes, des argiles et des sables contenant des concrétions et des veines de calcaire et se prolongeant jusqu'au sable pétrolifère, à 348 mètres. Cette dernière formation ressemble tout à fait à l'assise de Lagarto, du pliocène inférieur, qui, là comme partout où on la rencontre, se distingue par des fragments de calcaire cristallisé et des fossiles roulés des terrains inférieurs. Le pétrole serait donc à la base du pliocène.

Comme le pétrole de Californie, celui de Beaumont est lourd et asphaltique. Sa densité est de 0,925, soit 21° B. On n'a pu le distiller que difficilement, à cause des produits dérivés de l'asphalte. Voici ce qu'on a obtenu :

DEGRÉS CENTIGRADES	P. 100 PAR RAPPORT au pétrole brut	DENSITÉ
150 à 200	6	0,851
200 à 250	13,5	0,867
250 à 300	28	0,886
300 à 400	50	0,914
Résidu et pertes	2,5	

Les produits qui passent au-dessous de 300° sont beaucoup plus lourds qu'en Californie et ne peuvent servir à l'éclairage.

La composition élémentaire est :

	p. 100
C............	84,60
H...........	10,90
O	2,87
S............	1,63

Ce qui distingue ce pétrole de celui de Californie, c'est sa forte teneur en soufre, qui monte souvent jusqu'à 2,5 p. 100 et qui est très nuisible dans ses différents usages.

La production de Beaumont est assez difficile à connaître exactement. Il n'y a de statistique officielle que pour le pétrole expédié par rails ou par mer; le stock n'est estimé qu'assez approximativement. En 1901, la production a été évaluée à 4.190.000 barils. En 1902, voici comment on la décompose :

	Barils
Pétrole expédié par rails ou par mer..........	9.128.154
Consommation locale..........................	500.000
Perte..	400.000
Augmentation du stock au 31 décembre 1902..	6.105.000
	16.133.154

Le stock est emmagasiné pour la plus grande partie dans des réservoirs de fer, qui ont une capacité totale de 6 millions de barils. On avait imaginé de creuser de grandes fosses dans la terre pour s'en servir comme réservoirs; mais cela n'a pas réussi.

La principale Compagnie productrice, le Guffey Petroleum Co, a construit une grande raffinerie à Port-Arthur, sur le golfe du Mexique. Le pétrole destiné à servir de combustible doit lui-même être débarrassé de son soufre.

Le pétrole est très employé sur les locomotives du Texas. Néanmoins, avec les hauts prix exigés l'an dernier, il n'a pu encore remplacer le charbon de Pensylvanie et d'Ohio, qui arrive en Louisiane par le Mississipi à assez bon compte.

On cherche surtout à le transporter par mer, sur la côte de l'Atlantique, et en Europe, notamment en Angleterre où le pétrole ne paye pas de droit d'entrée et où on espère pouvoir en développer l'emploi sur les locomotives en concurrence avec la houille anglaise.

Il serait difficile de calculer, dès maintenant, quel doit être le prix du pétrole du Texas rendu aux ports anglais. Indiquons seulement que le cours du baril de pétrole brut

a été en moyenne de 1 fr. 50 au Texas l'an dernier. Au port d'embarquement du pétrole, le prix de l'équivalent en pétrole d'une tonne de charbon serait donc, au plus, de 6 francs. A ce prix, il faudrait ajouter le prix du fret jusqu'aux ports anglais, non pas pour 1 tonne, mais pour 580 kilogrammes seulement. En France, le pétrole brut est taxé d'un droit de 9 francs par 100 kilogrammes, ce qui grèverait de 52 fr. 50 l'équivalent d'une tonne de charbon.

La « Shell Navigation Company », qui est anglaise, a, jusqu'à présent, le monopole du transport du pétrole. Elle s'occupe de creuser le Sabine Lake, sur lequel est Port-Arthur, et le chenal qui le réunit au golfe du Mexique pour le rendre accessible aux grands bateaux-réservoirs de 30.000 barils.

Si la fortune des champs pétrolifères de Californie et du Texas continue quelque temps encore, ils alimenteront bientôt de combustible toute la partie méridionale et occidentale des États-Unis et les côtes les plus éloignées de l'Atlantique et du Pacifique.

NOTE

SUR LES

AFFAISSEMENTS PRODUITS DANS LE CHESHIRE

PAR L'EXPLOITATION DU SEL

Par M. L. BAILLY, Ingénieur des Mines.

PRÉLIMINAIRES.

Généralement c'est l'eau qui, pour le plus grand profit de l'homme, va miner les gisements salifères. Les pompes des puits ou des sondages retirent ainsi 300 kilogrammes de chlorure de sodium dans chaque mètre cube liquide, dont le prix de revient peut descendre au-dessous de $0^{fr},10$ (*). L'extraction directe, par puits et galeries, d'une pareille quantité de sel, en roche impure, coûte environ 1 franc. Elle ne présente par ailleurs aucun avantage spécial pour les industries salines et soudières, dont la matière première est l'eau salée et qui peuvent s'installer à proximité des gisements. L'emploi du sel gemme est restreint aux usages agricoles et à l'alimentation de quelques usines éloignées. Le tableau ci-dessous fait ressortir cette situation :

EXTRACTION ANNUELLE MOYENNE, EN TONNES :

	France	Iles Britanniques
Sel gemme..............	100.000	150.000
Sel en dissolution........	500.000	1.800.000

(*) Les sources salées superficielles fourniraient de la saumure gratuite, mais faiblement salée.

C'est donc avec raison que Karsten écrivait dès 1847 : « ... L'exploitation par dissolution offre tant d'avan-
« tages que l'on se résigne facilement à laisser aux temps
« futurs le soin de réparer le mal que cette exploitation
« peut faire... »

Ces temps futurs sont venus. Le mal, c'est l'affaissement désordonné du sol. L'eau, mineur à bon marché, mais aveugle, réalise une exploitation par foudroyage dont l'allure et les limites échappent souvent à tout contrôle humain.

Les Anglais, dans leur important bassin du Cheshire, sont beaucoup plus gravement et depuis beaucoup plus longtemps que nous aux prises avec ces difficultés. Ils viennent à peine d'aboutir à une solution conforme à leurs traditions libérales. Une loi, mise en application en 1896, purement réparative, se borne à assurer au simple particulier lésé matériellement l'indemnité qu'il n'aurait pu obtenir par le droit commun. Aucune mesure préventive n'a même été proposée.

Les idées et les méthodes étrangères ne sont pas toujours d'une implantation ni facile ni même désirable. Il y a cependant quelque intérêt pour nous à examiner d'abord cette situation anglaise du problème et à profiter d'une expérience beaucoup plus prolongée que la nôtre (*).

(*) Nous sommes redevables de précieux renseignements à MM. Dickinson, ancien inspecteur des mines à Manchester; Hall, inspecteur des mines à Liverpool ; Molyneux, ingénieur divisionnaire de la Salt-Union Ltd à Northwich ; Rigby, directeur général de la Salt-Union à Winsford, et à une brochure du regretté M. Ward, prédécesseur de M. Rigby.

CHAPITRE I.

GÉNÉRALITÉS.

Le gîte salifère du comté de Cheshire (*) (Nord-Ouest de l'Angleterre) est constitué essentiellement par une cuvette des marnes keupériennes correspondant à peu près au bassin hydrographique de la rivière Weaver, qui coule du Sud au Nord vers la Mersey. Cette cuvette, elliptique, a 50 kilomètres de long sur 30 de large. Les marnes y affleurent ou ne sont recouvertes que par quelques mètres d'alluvions quaternaires (voir *fig*. 1, Pl. X).

Ces marnes ressemblent à nos marnes irisées; elles renferment du gypse et de puissants bancs de sel. Les affleurements de ces bancs n'existent plus. Les géologues anglais attribuent à leur dissolution la formation d'un grand nombre d'étangs et de mares (*meres*) distribués sur le pourtour de la cuvette marneuse : Combermere, Ossmere, Oakmere, etc. Au centre du bassin, le sel a été rencontré à des profondeurs variant de 35 à 70 mètres; mais là encore, recouvert par une épaisseur faible des marnes, il a pu être atteint par les eaux douces : partout on l'a trouvé au-dessous d'une nappe salée d'origine naturelle qui existe, en outre, en d'autres points où le sel a disparu complètement : Middlewich (**), Acton, Frodsham, etc.

Il semble qu'aujourd'hui, immédiatement au-dessous d'un système de nappes probablement en communication

(*) Les autres bassins anglais sont d'importance secondaire. Leur production totale n'atteint pas le cinquième de celle du Cheshire. Des affaissements notables n'y ont été signalés qu'à Droitwich (Worcestershire) : ils sont bien moins sérieux qu'au Cheshire. Nous n'avons pas jugé opportun d'y consacrer une partie de notre trop court séjour en Angleterre, en juin 1903.

(**) La terminaison *wich* caractérise les centres salicoles anciens.

hydrostatique s'étendant de Nantwich et Lawton au Sud jusqu'à Northwich et Frodsham au Nord, les bancs de sel n'existent plus qu'en lentilles plus ou moins isolées : celle de Northwich, qui n'aurait que 800 hectares environ, celle de Winsford, celles moins riches de Lawton et de Nantwich. Les deux premières correspondent à la puissance maxima du sel et de la nappe salée et comprennent notamment chacune deux assises de 25 à 30 mètres, d'où sort aujourd'hui la presque totalité de l'extraction du Cheshire et de l'Angleterre. A Lawton, l'épaisseur du sel rencontré atteint au total 27 mètres ; mais la nappe salée est peu importante, l'exploitation y est très secondaire, de même qu'à Middlewich où n'existe qu'une nappe salée sans sel et qu'à Wheelock. A Nantwich, toute exploitation a cessé depuis 1847.

Le tableau suivant résume la situation par l'indication de coupes de terrains pour chaque centre :

		Northwich		Winsford	Wheelock	Lawton	Middlewich
Parties reconnues par les puits d'exploitation	alluvions.....	7m,50	10m	2m	11m	0	0
	marnes.......	32	27	57	69	38m	69m
		eau salée	eau salée	eau salée	eau salée	eau salée	eau salée
	sel...........	25	27	37	6	1	0
	marne salée...	9	8	11		9	
	sel...........	25	28	36		4	
Parties inexploitées reconnues par sondages	marne salée...	26	9	9		13	
	sel...........	1	1,50	1		22	
	marne salée...	24	2,50	4			
	sel...........	2	4	1,50			
	marne........	5	263	4			
	marnes et grès.		395 (recherche de houille)				
	TOTAL du sel.....	53	61,50	75,50	6	27	

C'est par des sources salées situées pour la plupart au voisinage du thalweg de la rivière Weaver que se signala d'abord le gisement. Dès les premiers siècles de notre

ère, on exploita assez activement ces sources, captées dans des puits peu profonds. Leur salure était faible, leur rendement médiocre.

En 1670, le sel en place fut découvert, pour la première fois en Angleterre, à Marston, près Northwich, à moins de 40 mètres de profondeur. L'exploitation par puits et galeries commença immédiatement. Un siècle plus tard, en 1781, on rencontra, encore à Marston, la deuxième couche de Northwich et ensuite la partie inférieure du gisement.

Aujourd'hui encore, on n'utilise guère que la nappe salée suprasalifère et la couche supérieure qui l'alimente. L'exploitation du sel gemme, localisée à Northwich, porte sur la deuxième couche, qui est naturellement sèche.

La plupart des salines sont situées à Northwich et à Winsford sur les rives de la Weaver navigable; elles sont, en outre, fréquemment raccordées au chemin de fer. D'autres canaux : Trent and Mersey, Bridgewater, desservent le district.

CHAPITRE II.

MINES DE SEL.

Dans la région de Northwich, l'effondrement de nombreuses mines de sel, en général abandonnées, s'est ajouté aux affaissements dus à la dissolution. A ce titre, nous devons exposer la situation générale de ces exploitations souterraines.

Les premières (*fig.* 1), établies à partir de 1670 au milieu de la couche supérieure, vers 50 mètres de profondeur, n'avaient qu'un puits d'où les chantiers ne s'écartaient pas à plus de 100 mètres. Ce puits, insuffisamment cuvelé, n'allait pas jusqu'à la couche; une galerie et un faux puits

l'y reliaient; un puisard recueillait les eaux douces. On abattait une grande épaisseur de sel : 10 mètres et plus. Des piliers carrés de 4^m,50 de côté en moyenne, irrégulièrement distribués, supportaient les terrains supérieurs. La proportion du plein au vide était d'environ 1/10. Un treuil à cheval assurait l'extraction.

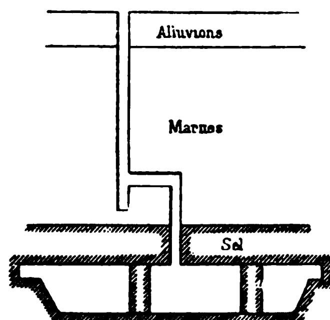


Fig. 1.

Ces petites mines étaient très nombreuses. Au début, l'extraction était faible, et en 1734, année qui suivit les travaux de canalisation de la Weaver, 7.000 tonnes seulement descendirent le cours de cette rivière jusqu'à la Mersey. Cinquante ans après, l'extraction totale ne dépassait pas 50.000 tonnes par an, au moment où la découverte de la seconde couche fit abandonner les travaux dans la première. Ceux-ci avaient fourni au total 2 millions de tonnes et devaient occuper en tout 10 hectares à peine.

Ils avaient donné de grands déboires. Les piliers auraient bien été suffisants; mais le toit de sel laissé aux galeries, larges souvent de 20 mètres, ne l'était pas toujours. Des ruptures de toit se produisirent, amenant les eaux plus ou moins salées, sus-jacentes, dans les mines. Celles-ci furent inondées, les piliers dissous, des effondrements nombreux survinrent. Pour une seule mine supé-

rieure, à Marston, encore accessible aujourd'hui, quoique inexploitée, M. Ward a repéré l'emplacement de plus de 40 de ces anciennes mines. Plus de 12 sont dans la zone submergée du vallon de Witton; une vingtaine d'autres, effondrées, se signalent à la surface par l'existence d'une mare circulaire au centre de leur effondrement; on a comblé les puits de celles qui restaient.

Les mines inférieures, creusées dès 1781 en remplacement des précédentes, souffrirent au début de l'insuffisance des piliers. On n'avait pas accru leurs dimensions proportionnellement à la profondeur plus grande des travaux: 100 mètres au lieu de 50. Quelques effondrements se produisirent de ce fait. Parmi les plus graves on signale celui du 14 octobre 1838, à Dunkirk, quartier de Northwich, où les bâtiments du jour, en s'écroulant, ensevelirent douze personnes, dont sept périrent.

Peu à peu, plusieurs de ces mines se rejoignirent. Vers 1845, les eaux superficielles, à Witton, envahirent un puits et inondèrent tout un groupe d'exploitation. On y pompe aujourd'hui de l'eau salée. Cette eau provient surtout de la nappe suprasalifère qu'alimente la couche supérieure; les piliers de ces vieilles mines profondes, baignés dans l'eau la plus dense, très saturée, résistent assez bien à la dissolution. Un autre groupe du même genre, inondé et exploité par pompes, existe dans le voisinage sur le territoire des communes de Wincham et Marston, limitrophes de Northwich.

Jusqu'en 1880, chacun des effondrements de ces mines supérieures ou inférieures n'avait atteint la surface du sol que très localement. En décembre 1880, la mine de Platt's Hill, à Dunkirk, fut noyée par le groupe adjacent inondé de Witton, dans lequel les travaux avaient percé. L'afflux subit d'eau salée provoqua la vidange de plusieurs vieilles mines supérieures dont le toit, étant ainsi momentanément privé du support résultant de la contre-

pression du liquide, s'effondra. Des bâtiments s'écroulèrent. Un lac se forma à la surface.

L'extraction de l'eau salée des deux groupes de vieilles mines inférieures inondées de Dunkirk-Witton et de Wincham-Marston provoqua une dissolution active de la couche supérieure. Il en sera question plus loin.

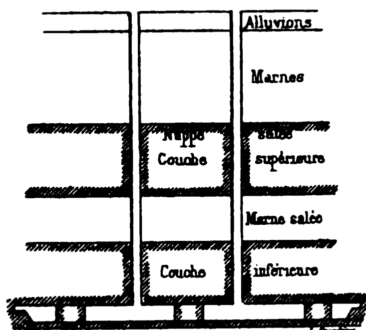


Fig. 2.

Les mines inférieures actuelles (*fig.* 2) sont au nombre de neuf, dont trois seulement en activité. Elles sont situées dans la zone du sol qui s'affaisse. La superposition de l'exploitation par dissolution aux travaux de mines ne cause aucune inquiétude. Cependant les mouvements de terrains qui peuvent affecter les puits et leurs cuvelages doivent être surveillés de près. Ces trois mines sont exploitées par gradins droits. L'épaisseur totale du sel enlevé est d'environ 5 mètres. L'abatage se fait au pic et à la poudre, versée à nu dans des trous pratiqués au fleuret à percussion. On a employé des haveuses à roue mues par l'air comprimé. On y a renoncé et on va essayer la force électrique.

Chaque mine, surveillée par un porion et dirigée par un ingénieur, occupe au fond une cinquantaine d'ouvriers faisant chaque jour un poste de huit heures.

Les piliers carrés ont 9 mètres de côté, pour des galeries larges de 22^m,50 en moyenne. On laisse au toit 20 mètres de sel d'une solidité parfaite. Deux puits jumeaux de 1 mètre de diamètre utile, distants de 10 mètres, desservent les travaux, dont la profondeur est de 100 mètres. Ces puits sont cuvelés par anneaux de fonte d'une seule pièce. La machine d'extraction, à vapeur, actionne les bennes cylindriques, d'un diamètre très peu inférieur à celui des puits (il n'y a qu'une benne par puits).

Ces mines produisent par an un total de 150.000 tonnes de sel valant de 3 à 4 francs la tonne.

En dehors de la région de Northwich, il n'existe que deux mines abandonnées à Lawton et une à Winsford.

CHAPITRE III.

EXTRACTION DU SEL EN DISSOLUTION.

L'eau salée est pompée dans des puits creusés à niveau vide. Ils sont de deux sortes : 1° ceux qui exploitent la nappe naturelle suprasalifère; 2° ceux qui puisent dans les mines inférieures inondées (voir plus haut). Ces derniers sont au nombre de cinq ou six, à Northwich. Les autres sont une douzaine à Northwich, une trentaine à Winsford et cinq ou six dans les autres centres.

Les puits de la première catégorie sont foncés jusqu'à la nappe salée. Ils ont donc de 35 à 70 mètres de profondeur. Un cuvelage en bois ou en fonte isole les niveaux d'eau douce rencontrés. Des précautions spéciales sont prises, vers la fin du fonçage, contre la force ascensionnelle de la nappe, qui se trouve toujours sous un banc caractéristique de marne très dure. Dès la rencontre de ce banc, on y établit la trousse du cuvelage et on exécute ce dernier. Ensuite on perfore le banc dur au moyen

de barres à mines ; on termine souvent par un sautage des trous ainsi pratiqués. Quelquefois le cuvelage se termine par un fond métallique muni d'ouvertures réservées pour le forage des trous de barres à mine jusqu'à la nappe ; parfois ce fond est disposé pour recevoir une sorte de robinet-valve, maîtrisant les venues salées artésiennes et permettant d'assécher le puits en cas de nécessité.

L'eau salée des mines est pompée soit dans les anciens puits d'extraction restés en bon état, soit dans des puits spécialement creusés pour la « mise en perce » de ces excavations souterraines remplies de saumure, avec des précautions analogues à celles du cas précédent.

On n'a jamais eu à faire d'exploitation par chambres de dissolution ou lacs souterrains analogues à ceux pratiqués en Meurthe-et-Moselle, dans les régions privées de nappes naturelles. Au Cheshire, l'eau salée naturelle existe partout et suffit à tous les besoins.

Il ne semble pas qu'on ait étudié de très près le régime de ces nappes naturelles du Cheshire. Il est probable qu'il est analogue à celui des nôtres, que nous exposerons en détail plus tard : l'eau douce descend par des fissures de la marne jusqu'au sel et régénère ainsi constamment la nappe, qui alimentait d'abord uniquement les sources naturelles de Nantwich, Dirtwich, Middlewich, Northwich, etc., et qui aujourd'hui est surmenée par les pompages. Ceux-ci, de plus en plus actifs, ont provoqué l'abaissement progressif de son niveau, malgré l'afflux considérable d'eau douce qu'y provoquent les dépressions piézométriques. Cet abaissement a été d'environ 1 mètre par an. De plus le niveau suit les variations des saisons. En revanche, l'inondation et les effondrements des mines, apportant un contingent nouveau et important de venues d'eau douce, ont relevé ce niveau naturel. Ce relèvement a atteint plusieurs mètres lors de l'inondation de Platt's Hill, en 1880.

L'extraction annuelle du sel en dissolution soit pour les salines, soit pour les soudières, se répartit ainsi :

	Winsford	Northwich	Middlewich, Wheelock et Lawton	Total
Tonnes	1.000.000	500.000	100.000	1.600.000

En 1825, l'extraction annuelle du comté ne dépassait pas 250.000 tonnes.

On estime les quantités totales extraites depuis deux siècles à 25.000.000 de tonnes pour la région de Northwich, 40.000.000 pour celle de Winsford et 70.000.000 pour tout le bassin.

Ces extractions énormes ont eu pour résultat des affaissements considérables, qu'on a renoncé depuis longtemps à mettre sur le compte exclusif de phénomènes naturels : courants souterrains, sources salées, etc. Ces causes ont évidemment, dans la suite des temps géologiques, enlevé par dissolution une grande quantité de sel et provoqué la formation des nappes naturelles aujourd'hui exploitées ; mais elles agissent bien moins rapidement que les extractions actuelles.

CHAPITRE IV.

AFFAISSEMENTS.

Les affaissements se produisent dans les régions imprévues où l'eau douce, appelée par les pompages, prend contact avec la couche supérieure de sel. A certains endroits, les mouvements sont lents, imperceptibles, ne dépassant pas quelques centimètres par an, et décelés uniquement par des constructions, des ouvrages d'art, ou des nivellements très précis.

La plupart du temps, au contraire, ils sont brusques. Le

sol est bouleversé, fissuré ; de vastes entonnoirs se forment instantanément. Malgré ces circonstances dangereuses, on n'a jamais eu d'accident de personne à déplorer. Seul un cheval a été un jour enseveli sous les ruines de son écurie.

La brusquerie de ces mouvements tient à l'existence à peu près générale, dans les marnes suprasalifères, de bancs résistants, dont l'affaissement ne suit pas d'une manière absolument continue le développement progressif des excavations souterraines résultant de la dissolution.

Certains de ces affaissements sont antérieurs à l'exploitation moderne et contemporains de l'utilisation pure et simple des sources salées. Aujourd'hui, ils sont à peu près localisés autour des deux centres principaux de Northwich et de Winsford.

I. — RÉGION DE NORTHWICH.

Dans cette région, une zone de 600 hectares est atteinte. 250 hectares sont affaissés de plusieurs mètres : 80 d'entre eux sont submergés ; 100 autres sont recouverts de constructions soumises à de rudes épreuves (voir *fig.* 2, Pl. X).

La partie submergée comprend trois lacs principaux occupant sur 1.500 mètres de longueur le vallon du ruisseau de Witton à partir de son confluent avec la Weaver.

Le lac inférieur dit de Witton s'est constitué ainsi : au milieu du XVIII[e] siècle, à son emplacement, près du quartier de Witton, à Northwich, se trouvaient le ruisseau et un court embranchement du canal de la Weaver, aboutissant au moulin de Witton à 1.100 mètres en amont du confluent des deux cours d'eau ; cet embranchement avait une écluse près du confluent et desservait, outre le moulin, plusieurs mines de sel de couche supérieure.

Dès 1790, les anciens plans indiquent l'existence dans le thalweg du ruisseau, entre les deux mines, d'un lac

elliptique de 120 mètres sur 80, témoin d'un sérieux commencement d'affaissement. D'après un autre plan, en 1837, le lac atteint 1.100 mètres de long sur 150 de large. En 1857, la longueur est la même ; mais la largeur atteint près de 400 mètres ; l'écluse et les mines sont submergées. Des vérifications ultérieures ont confirmé la constante progression du phénomène. Ce lac a aujourd'hui environ 40 hectares de superficie.

L'affaissement maximum correspond à l'axe de l'ancien thalweg. Le sol, autrefois à 3 mètres au-dessus du niveau de la Weaver, est descendu à 18 mètres au-dessous, soit un affaissement total de 21 mètres depuis le XVIII[e] siècle. On a remblayé une partie de la dépression au moyen de déblais de travaux, de cendres de salines, etc. L'emplacement de l'ancien moulin, à l'amont, a été submergé, et le pont de la grande route de Warrington, qui passe près de cet emplacement, a été relevé ainsi que le remblai de la chaussée avoisinant.

Ce lac est le résultat de la disparition de la couche supérieure seule. On n'a pas ouvert de mines inférieures à son aplomb, car l'origine de l'affaissement est antérieure à la découverte et à la mise en exploitation de la seconde couche. Il paraît donc certain que l'affaissement maximum de 21 mètres constaté correspond exactement à la disparition complète de la couche inférieure, puissante de 25 mètres environ, et surmontée de 35 mètres seulement de marnes et alluvions, dont le foisonnement ne dépasserait, par conséquent, guère 10 à 12 p. 100.

Ce lac de Witton continue à s'étendre.

Celui de Wincham-Marston, au Nord-Est du précédent, n'en est séparé que par une bande de terre peu élevée, large de 150 mètres, qui s'affaisse aussi et semble destinée à être également submergée : les deux lacs n'en feraient plus qu'un.

C'est là que fut découverte, en 1781, la seconde couche

de sel et que l'on ouvrit les premières mines inférieures. L'inondation ultérieure de celles-ci créa le vaste réservoir dont nous avons parlé plus haut. On y pompa dès 1861. A partir de ce moment, les terrains supérieurs, jusque-là maintenus par la contre-pression d'une eau saturée en repos non corrosive pour les bancs de sel restants, commencèrent à s'affaisser. La partie submergée atteint 7 hectares et continue à se développer.

Le troisième lac est à Dunkirk, quartier de la ville de Northwich. Il est immédiatement à l'amont du premier sur le ruisseau. Depuis 1873, l'affaissement du lac de Witton, remontant le thalweg, s'était étendu jusque-là. L'effondrement qui, en décembre 1880, fut la conséquence de l'inondation de la mine de Platt's Hill, accrut considérablement la surface submergée en amont de l'ancien moulin et constitua un véritable lac distinct du premier, dont il n'est séparé que par la chaussée et le pont de la route de Warrington.

De même qu'à Wincham et Marston, on pompait l'eau salée du groupe inondé des mines inférieures de cette région. Tous ces pompages furent accrus surtout dès 1893 et, depuis ces dernières années, ils produisent la moitié de l'extraction totale de la région de Northwich. Aussi le lac de Dunkirk s'est développé comme celui de Wincham et atteint 12 hectares en superficie, 30 mètres en profondeur. La couche inférieure a dû exceptionnellement être entamée par la dissolution.

En outre, dans le voisinage, des lacs secondaires se sont formés à l'aplomb de certains puits de ce groupe de mines inférieures, dont la surface totale atteignait 25 hectares, comme à Wincham-Marston.

En dehors des dommages causés aux terrains, surtout par submersion, des dégâts très importants ont été subis par les ouvrages de la navigation de la Weaver, par la voirie et par les immeubles.

Les écluses et les barrages sont sensibles aux moindres mouvements du sol. Le barrage de Winnington a dû être relevé et réparé; quatre écluses ont été atteintes et réparées à différentes reprises; l'une d'elles a dû être démolie et deux biefs réunis en un seul. Plus de 2 kilomètres de chemin de halage ont été relevés presque constamment.

Le relèvement et l'entretien du pont de la route de Warrington près de l'ancien moulin ont coûté plus de 60.000 francs. Les deux ponts de Northwich sur la Weaver et sur la Dane ont aussi été réparés à grands frais. Les routes, les rues avec leurs égouts et conduites d'eau ou de gaz ont beaucoup souffert.

Le raccordement du chemin de fer avec les quais de la rivière a dû être relevé peu à peu d'une dizaine de mètres depuis 1866. Les grandes lignes ferrées ont été construites en dehors de la zone d'affaissement.

Un grand nombre d'immeubles de Northwich, ville de 17.000 habitants, et des communes suburbaines sont compris dans cette zone. Dans la ville, c'est surtout la partie basse qui a souffert, près du confluent de la Weaver et de la Dane. Elle s'est affaissée en moyenne de 4 à 5 mètres, parfois de 10 mètres. Malgré de fréquentes démolitions, reconstructions et réparations, on y voit une foule de maisons déversées, disloquées, enfoncées. On évalue à un millier le nombre des immeubles atteints dans la ville, y compris quelques édifices publics, plusieurs salines et usines diverses.

On a adopté, pour les constructions et reconstructions dans la zone exposée, une architecture spéciale. Les maisons se composent essentiellement d'une charpente parallélipipédique solidement entretoisée avec remplissage des entre-bois au moyen de briques ordinaires. Cette espèce de boite rigide, indéformable, repose sur un soubassement en maçonnerie. De telles constructions sont

susceptibles de subir, sans avarie, des mouvements importants. De temps en temps, quand cela devient nécessaire, on les remet d'aplomb au moyen de vérins puissants, et on relève convenablement leur soubassement.

Toutefois cette introduction, dans l'architecture locale, d'une grande quantité de bois a eu pour conséquence un accroissement notable des primes d'assurances contre l'incendie.

II. — RÉGION DE WINSFORD.

Cette région, qui, en 1825, ne produisait pas la moitié de l'extraction de Northwich, fournit aujourd'hui 1.000.000 de tonnes; c'est de beaucoup la plus active du bassin; aussi les affaissements dans les cinquante dernières années y ont acquis une amplitude considérable. Heureusement ils affectent surtout la pleine campagne. Ils comprennent environ 600 hectares dans la vallée de la Weaver. Cette zone, elliptique, a son origine auprès des puits d'extraction d'eau salée qui sont répartis sur 1 kilomètre le long de la rivière au milieu de la ville. Elle s'étend en longueur jusqu'à près de 5 kilomètres en amont; sa largeur maxima, perpendiculairement à la vallée, dépasse 1 kilomètre et demi.

La couche inférieure est intacte, et la dissolution ne porte que sur les bancs supérieurs, puissants de 30 mètres environ. L'affaissement maximum le long du thalweg est d'une vingtaine de mètres. Les terrains sus-jacents ont 60 mètres d'épaisseur. Comme à Northwich, les mouvements du sol progressent avec une certaine brusquerie localisée, dont les effets se remarquent surtout sur les bords de la vallée, sillonnés de cassures visibles de loin.

Avec des dépressions de cette importance dans une vallée à pente faible, la formation de lacs était inévitable. Deux lacs, allongés sur un parcours total de 3 kilo-

mètres, sur 3 à 400 mètres de largeur maxima, occupent une surface de 60 à 80 hectares.

Le premier affaissement du sol dont on ait souvenir dans la région de Winsford date de 1713; c'était un entonnoir subit de 2 mètres de diamètre. Le lac inférieur a commencé vers la fin du XVIII[e] siècle. Le lac supérieur date d'une cinquantaine d'années.

La ville a beaucoup souffert: 400 immeubles ont été atteints. Le pont de la route de Middlewich, sur la Weaver, a été relevé, en plusieurs fois, d'une dizaine de mètres, au prix de 80.000 francs environ.

A son extrémité amont, à 4 kilomètres de Winsford, l'affaissement a atteint la région où la grande ligne de Londres à Liverpool (London and North Western) longe un instant la vallée de la Weaver et franchit par un pont le canal de Chester qui suit cette vallée. Ce pont a été disloqué. On a dû le reconstruire en poutres métalliques susceptibles d'être relevées suivant les besoins.

Du côté opposé, en aval de la ville, une ligne d'affaissements très curieuse s'est dessinée le long d'un ruisseau perpendiculaire à la Weaver, depuis le hameau de Marton Hall jusqu'aux puits d'eau salée de Newbridge, sur la rivière, distants de 3 kilomètres. Vers 1870, un entonnoir de 100 mètres de diamètre s'est formé à Marton Hall par à-coups en quelques années, là où existait auparavant une petite mare. En 1879, à 1.500 mètres en aval, subitement un nouvel entonnoir se forma, de 50 mètres de diamètre. Le ruisseau s'y écoulait complètement. En même temps, à 700 mètres plus bas, jaillissait une source salée énorme, véritable rivière de 10 mètres de largeur sur 1 mètre de profondeur. Elle tarit au bout de huit jours. Plus tard encore, en aval de cette éruption salée, d'autres affaissements brusques se développèrent jusqu'à la Weaver. Il s'était formé là évidemment un courant d'eau salée aboutissant aux puits de Newbridge et alimenté en

eau douce en amont près de Marton Hall par quelque fissure des marnes suprasalifères. La brusquerie des affaissements, avec de violents effets dynamiques sur la nappe sous-jacente, était là tout à fait remarquable.

Comme à Northwich, les grandes lignes ferrées ont été construites en dehors de la zone la plus atteinte.

III. — AUTRES RÉGIONS.

Un fait intéressant à noter est l'existence d'affaissements isolés, secondaires mais certains, en des points du bassin éloignés de plusieurs kilomètres des centres d'extraction les plus proches.

Le plus important est celui qui affecte la ligne de Manchester à Birmingham entre les stations de Sandbach et de Crewe, près de l'endroit où elle franchit la vallée de la Wheelock, affluent de la Dane. La voie ferrée s'est affaissée progressivement et lentement sur 3 kilomètres de longueur. On a dû la relever de plusieurs pieds. Cet affaissement est à 4 kilomètres des puits de Wheelock, à 10 kilomètres de ceux de Middlewich et à 11 kilomètres de ceux de Winsford.

On a signalé également des dépressions ou des mares dues à l'affaissement du sol à Crewe Hall non loin de l'affaissement du chemin de fer que nous venons de citer, à Billinge Green, tout près de la ligne de Sandbach à Northwich, à Birch Hall, à Bostock, non loin de Billinge Green. Ces trois derniers affaissements sont voisins et à peu près à 4 ou 5 kilomètres des puits d'eau salée de Middlewich, Winsford ou Northwich.

Enfin, fait particulier très remarquable, des affaissements ont été observés, il y a encore vingt ans à peine, dans la ville de Nantwich sur la haute Weaver. Or l'extraction de l'eau salée a cessé dans cette région depuis plus de cinquante ans. La nappe suprasalifère de

Nantwich doit donc vraisemblablement trouver un écoulement vers les centres exploités les plus voisins, notamment vers Winsford, situé à 15 kilomètres plus bas dans la même vallée. Les puits de Lawton, Wheelock et Middlewich en sont aussi à plus de 12 kilomètres.

Tout ceci conduit à penser qu'il n'y a peut-être dans tout le bassin du Cheshire, sous les vallées de la Weaver, de la Dane et de la Wheelock, qu'une seule nappe salée faisant communiquer hydrostatiquement et rendant solidaires les différents centres d'extraction.

Du reste, cette responsabilité collective présumée a été rendue effective par la loi de compensation.

CHAPITRE V.

LOI DE COMPENSATION.

En 1871, la Chambre corporative du sel du Cheshire, émue des progrès de plus en plus considérables des affaissements et des dégâts consécutifs, demanda au Ministère du Commerce de faire étudier la question par un ingénieur compétent. Le secrétaire d'État de l'Intérieur chargea de cette étude M. Joseph Dickinson, inspecteur des mines des plus distingués, qui, en mars 1873, fournit un rapport très remarquable. Ce rapport fut présenté au Parlement et imprimé.

Peu de temps après cette publication, un certain nombre de propriétaires fonciers, victimes des affaissements, se groupèrent et ouvrirent une campagne de protestation. Les autorités locales saisirent de l'affaire l'Administration du Comté et, en 1881, une proposition de loi fut soumise au Parlement. Les sauniers firent une opposition énergique et, après une enquête parlementaire très sérieuse, la proposition fut repoussée.

En 1891 un autre projet finit par aboutir. Ses dispositions furent appliquées à partir de 1896.

Les circonstances spéciales de l'espèce rendaient cette loi nécessaire.

Antérieurement, un propriétaire victime d'affaissements ne pouvait obtenir réparation. Il aurait fallu d'abord prouver la responsabilité de tels ou tels exploitants et faire la part de chacun, ce qui semblait très difficile, tous exploitant la même nappe. D'autre part, le principe même de responsabilité était très discuté; les sauniers prétendaient que, si les pompages cessaient, des courants naturels anciens se rétabliraient et les affaissements continueraient de la même façon. Ils soutenaient en outre que, de même que tout propriétaire peut aspirer dans son puits l'eau douce ordinaire existant sous la propriété voisine, et avec cette eau les principes minéraux qu'elle contient, de même ils étaient fondés à pomper sans indemnité l'eau salée de leurs puits d'extraction sans se préoccuper de son origine et des conséquences de la dissolution qui pouvait en résulter n'importe où. Ils citaient des cas d'affaissements résultant de la dissolution du gypse par les eaux douces ordinaires, invoquant l'identité de principe des deux phénomènes. En outre, disaient-ils, l'instabilité du sol dans les centres salicoles du Cheshire est connue de longue date; les propriétaires actuels qui réclament des indemnités ont certainement acquis leurs immeubles en parfaite connaissance de cause; ils ont fixé leur prix d'achat en tenant compte des risques courus. Ils n'ont aucun titre à indemnité. Enfin la prospérité générale du pays résultant de l'activité de l'industrie salicole serait une large compensation aux inconvénients inévitables résultant de l'extraction du sel. De plus, les charges nouvelles imposées à l'industrie du sel des districts affaissés risqueraient d'y ruiner la prospérité actuelle, et les réclamants eux-mêmes en souffriraient les premiers.

Parmi ces considérations de valeur diverse, certaines étaient réellement de nature à jeter la plus grande incertitude sur l'application du droit commun et la fixation d'une jurisprudence équitable dans un pays où le *jus utendi et abutendi* est poussé très loin. Il fallait une législation spéciale. On s'y résigna après de longues années de tergiversations.

Cette loi du 28 juillet 1891, dont nous donnons le texte en annexe, établit les principes suivant lesquels, dans toute l'Angleterre, l'initiative du « local government-board » pourra organiser la « compensation » des dommages causés à un district par les affaissements résultant de l'extraction d'eau salée. Il n'en a été fait application qu'au Cheshire, où cette organisation a été consacrée par un arrêté pris le 21 mai 1896.

Les caractéristiques de cette législation toute récente sont les suivantes :

L'Administration fixe un « district de compensation » dans les limites duquel les règles suivantes sont appliquées ; une « commission de compensation » est chargée de cette application.

Les réclamations des propriétaires victimes d'affaissements sont reçues dans certaines formes ; les indemnités correspondantes sont fixées par la Commission, suivant certaines règles et avec faculté de recours et d'appel en certains cas. Le paiement de ces indemnités est assuré par un « fonds de compensation » alimenté par une redevance perçue sur chaque exploitant proportionnellement au volume d'eau salée extraite par lui. Le taux de cette redevance est calculé pour assurer d'abord le service des indemnités, ensuite la constitution d'un fonds de réserve pour les cas extraordinaires. En aucun cas il ne doit dépasser 0 fr. 30 par mille gallons ou 4.534^{lit},4 de saumure, c'est-à-dire environ 0 fr. 20 par tonne de sel en dissolution. Si ce taux ne suffit pas pour une certaine année, on

réduit proportionnellement les indemnités correspondantes. Jusqu'à présent il a très largement suffi.

Du reste, le droit à indemnité est limité aux propriétaires privés. On a écarté tout ce qui reçoit par ailleurs une compensation plus ou moins indirecte, à savoir : les administrations publiques, les compagnies de navigation, de chemins de fer, d'eaux, de gaz, les exploitants d'eau salée, de salines, de soudières, les propriétaires fonciers en ce qui concerne les terrains pour lesquels ils ont cédé le droit d'exploiter le sel ou la saumure. On a estimé que, dans tous ces cas, les avantages résultant de l'activité salicole et de la prospérité générale qui en découle doivent suffire à compenser les inconvénients subis.

Il ne semble pas qu'à part ces mesures, longuement différées et uniquement réparatives, on se soit préoccupé d'aucune disposition préventive.

CHAPITRE VI.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Nous n'avons pas esquissé cette étude des affaissements hydrosalicoles anglais dans le seul but de décrire un phénomène qui ne nous intéresse pas directement. Nous tenions surtout à éclairer d'un jour latéral la situation du même genre qui apparait en Meurthe-et-Moselle et qui est envisagée directement depuis de longues années par le Service des Mines. Nous voulions obtenir, à la fois par des analogies et par des contrastes, confirmation et développement des conceptions nouvellement engendrées chez nous par des études et travaux récents. Le moment est venu de dégager de l'étude anglaise quelques considérations particulières, que nous pourrons invoquer plus tard en exposant la situation de Meurthe-et-Moselle.

Malgré une exploitation longue et active, le gisement salifère du Cheshire est, en somme, peu exploré. La loi anglaise, qui réunit à la propriété du sol celle des gites souterrains, a permis la juxtaposition étroite de nombreuses exploitations sur des parcelles voisnies appartenant à des propriétaires différents, à proximité d'agglomérations importantes et des voies de communication les plus avantageuses. L'exploration méthodique, qui est, en France, la conséquence logique de notre système des concessions, n'avait là aucun attrait. Il s'est donc fait une concentration des exploitations sur les nappes salées de Northwich et de Winsford, dont l'exploitation intensive a donné lieu à des phénomènes de dissolution et d'affaissement d'une amplitude extraordinaire.

Malgré cette exploration incomplète, on peut penser que ces nappes salées, comme celles reconnues dans les autres régions du bassin, font partie d'un système unique qui s'étendrait à toute la cuvette salifère. En effet, au centre de cette cuvette, les marnes suprasalifères n'ont qu'une cinquantaine de mètres de puissance ; elles doivent donc être partout insuffisamment protectrices pour les bancs de sel, qui ont dû subir de tous temps une dissolution naturelle très active. Cette dissolution les a même fait disparaitre complètement sur de grandes étendues, divisant ainsi le gite en lentilles plus ou moins isolées. En Meurthe-et-Moselle, le gisement est mieux recouvert; il a été beaucoup moins entamé par la dissolution naturelle ; la plus grande partie est restée intacte et sèche. Nous verrons plus tard l'intérêt de cette distinction, qui est favorable à la région lorraine.

L'eau douce appelée par les pompages tend, en vertu de sa densité, à occuper toujours la partie supérieure des nappes ; de sorte que la dissolution s'étend beaucoup plus en surface qu'en profondeur et, dans le Cheshire, n'intéresse que la couche supérieure. La dissolution de cette

couche, puissante de 25 à 30 mètres, engendre des excavations très importantes, d'autant plus sensibles à la surface du sol que les terrains sus-jacents ont souvent moins de 40 mètres d'épaisseur; leur foisonnement, qui paraît être de 10 p. 100 environ, ne réduit donc que faiblement les mouvements superficiels. En Meurthe-et-Moselle, le contraire se produit; l'épaisseur de sel attaqué est moins grande; les terrains sus-jacents sont plus épais.

La présence de bancs durs dans les marnes suprasalifères donne aux affaissements une allure brusque et discontinue. En Meurthe-et-Moselle, dans les régions sérieusement atteintes, ces marnes sont tendres et les affaissements continus.

Les phénomènes observés au Cheshire n'ont eu aucune conséquence pour la sécurité publique. Ils ne causent plus depuis longtemps aucune appréhension. Aucune mesure préventive n'a été proposée. Toutefois une législation spéciale a été élaborée pour assurer la réparation des dommages causés par eux. En Meurthe-et-Moselle, des mesures préventives ont été appliquées, bien que les circonstances soient plus favorables; en revanche, il ne semble pas qu'une législation réparative s'impose.

Cependant un point important au point de vue de la sécurité est à noter. En Angleterre, la construction des grandes lignes de chemins de fer est postérieure à l'apparition des grands affaissements du Cheshire. On a pu en tenir compte dans le tracé. Chez nous, au contraire, on ne prévoyait aucun phénomène de ce genre lors de la construction de la voie de Paris à Strasbourg, qui traverse la région de nos affaissements. Il y a là pour nous une infériorité qui pouvait dans une certaine mesure justifier *a priori* quelque appréhension.

ANNEXE (*).

BRINE PUMPING (COMPENSATION FOR SUBSIDENCE) ACT. 1891.

(*Loi de compensation pour les affaissements produits par l'extraction de l'eau salée.* 1891.)

PRÉLIMINAIRES.

ARTICLE PREMIER. — Cette loi s'appellera : Loi de compensation pour les affaissements produits par l'extraction de l'eau salée — 1891 ».

ART. 2. — Elle ne s'applique ni à l'Écosse, ni à l'Irlande.

INSTITUTION D'UN DISTRICT DE COMPENSATION.

ART. 3. — Tout propriétaire ou groupe de propriétaires possédant des terrains dont la valeur imposable totale est au moins de deux mille livres (50.000 francs), ou toute autorité sanitaire, peut adresser au gouvernement local une pétition indiquant que des affaissements sont causés à des terrains appartenant à ces propriétaires, ou situés dans le district de cette autorité, par des extractions d'eau salée, engendrant des pertes et des dommages, et demandant l'institution d'un district de compensation avec des limites indiquées par la pétition ou telles autres limites que le gouvernement local fixera.

ART. 4. — Au reçu de la pétition, le gouvernement local, après vérification sommaire, et, s'il le juge utile, après avoir obtenu caution pour tous frais pouvant lui incomber, délègue un inspecteur pour s'assurer, par enquête locale, de l'opportunité de l'institution du district demandé, de la convenance de ses limites, et pour tout autre objet se rapportant à l'affaire.

ART. 5. — Avant l'ouverture de l'enquête, le gouvernement local en avisera le public ; les intéressés seront entendus par l'inspecteur.

(*) Nous avons cherché à faire une traduction aussi approchée que possible, mais sans pouvoir peut-être reproduire toujours avec la rigueur juridique la pensée du législateur anglais.

ART. 6. — 1° Si, après réception du rapport de l'inspecteur, le gouvernement local décide l'institution d'un district de compensation, tel qu'il est demandé ou avec des modifications, il prendra un arrêté provisoire institutif, établissant en outre un comité de compensation ;

2° Le gouvernement local fera déposer des copies de cet arrêté au secrétariat du ou des conseils de Comté compétents et chez les autorités sanitaires compétentes. Ces copies sont communiquées sans frais aux propriétaires, locataires fonciers et exploitants d'eau salée du district ;

3° Il donnera aussi avis de l'arrêté et de ces dépôts par des publications, deux semaines successives, dans un journal local.

ART. 7. — 1° L'arrêté n'aura force de loi qu'après confirmation par le Parlement ;

2° Si, pendant que le Parlement est saisi, une opposition est faite, le projet de loi sera renvoyé à une commission qui entendra l'opposant, comme pour les projets de loi particuliers;

3° Toute loi confirmant un arrêté provisoire peut être abrogée ou modifiée par un nouvel arrêté confirmé par le Parlement ;

4° Le gouvernement local ne peut abroger tout ou partie de son arrêté qu'autant que le Parlement n'est pas encore saisi ;

5° La rédaction de l'arrêté doit viser l'exécution des formalités légales préalables ;

6° Toute loi confirmative est une loi publique générale ;

7° Les frais de l'autorité sanitaire, approuvés par le gouvernement local, et relatifs à l'exécution de la présente loi seront portés au crédit des frais généraux de cette autorité.

ART. 8. — 1° Les limites d'un district de compensation peuvent être modifiées par le gouvernement local dans les formes exigées pour l'institution de ce district ;

2° Tout exploitant d'eau salée ou tout groupe de propriétaires dont les terrains représentent une valeur imposable totale d'au moins cinq cents livres, peut demander la modification de ces limites.

COMMISSIONS DE COMPENSATION.

ART. 9. — Pour chaque district établi, il doit être institué une commission de compensation de neuf membres au plus.

ART. 10. — 1° Chaque commission reçoit une désignation fixée par l'arrêté institutif ; elle possède un sceau spécial, et peut

acquérir et posséder des terrains pour son objet légal sans aucune licence de mainmorte ;

2° Les opérations de la commission sont valables, même si elle est incomplète.

ART. 11. — 1° Les membres de la commission seront pris :

Un tiers nommé par le ou les conseils de Comté compétents, et choisis en dehors des exploitants d'eau salée ou de leurs agents ;

Un tiers élu par les exploitants d'eau salée du district ;

Un tiers, ni exploitants ni employés par eux, nommé par les autorités sanitaires compétentes autres que le conseil du chef-lieu du Comté ;

2° Un arrêté du gouvernement local règle le nombre, l'élection, la nomination, la révocation des commissaires ainsi que l'organisation de la liste électorale des exploitants et tous autres objets convenables.

ART. 12. — 1° La commission doit, à sa première réunion de chaque année, choisir, parmi ses membres, un président et un vice-président ;

2° En cas de vacance anticipée de la présidence ou de la vice-présidence, la commission doit y pourvoir le plus tôt possible pour la durée restante du mandat interrompu par la vacance.

ART. 13. — La démission d'un commissaire doit être adressée par écrit au président ou au secrétaire en fonctions.

ART. 14. — Toute vacance accidentelle doit être comblée, suivant les règles fixées par le gouvernement local, par le groupe intéressé et aussitôt que possible ; le nouveau commissaire achève la durée restante du mandat de son prédécesseur.

ART. 15. — Les réunions de la commission ont lieu conformément aux dispositions annexées à la présente loi.

ART. 16. — 1° Le procès-verbal des délibérations de la commission ou de ses sous-commissions, signé par le président, fera foi sans autre preuve ;

2° Jusqu'à preuve contraire, toute réunion dont procès-verbal aura été dressé sera réputée régulière.

ART. 17. — La commission peut déléguer ses pouvoirs à des sous-commissions ; toutefois les taxes et les indemnités sont réglées en réunion plénière.

ART. 18. — Elle peut aussi déléguer des surveillants ou employés suivant les besoins et faire toutes opérations de contrôle et d'évaluation.

ART. 19. — Elle peut réglementer les attributions de ses agents.

Art. 20. — Elle peut confier ses fonds disponibles soit aux caisses administratives, soit à n'importe quelle banque.

FONDS DE COMPENSATION ET RÉCLAMATIONS.

Art. 21. — 1° La commission doit constituer et entretenir pour son district un fonds de compensation;

2° Ce fonds est constitué et entretenu par l'assiette et la perception d'une taxe (ne dépassant pas le maximum prévu ci-après) par mille gallons (4.543^{lit},4) d'eau salée extraite dans le district;

3° Il doit servir exclusivement à compenser les dommages survenus dans le district et causés par les affaissements, et à couvrir les frais de la commission.

Art. 22. — Le dommage compensé devra provenir d'affaissements postérieurs à la promulgation de la présente loi et être de l'une des catégories suivantes :

1° Dépréciation des terrains (à l'exclusion des établissements et usines autres que ceux prévus ci-après) affaissés ou submergés, y compris les frais de clôture de ces terrains ;

2° Destruction ou détérioration des bâtiments et murs de toutes sortes, à l'exclusion des machines ou des aménagements, amovibles ou non ;

3° Dépenses nécessaires au soutènement, renforcement, relèvement ou réparation des bâtiments et murs ;

4° Dépenses nécessaires au relèvement ou abaissement, à la déviation ou réparation des chemins, clôtures, canaux ou drains *privés*.

La réclamation devra être formulée par la personne qui serait qualifiée pour le faire, s'il s'agissait d'excavations illicites exécutées par des tiers dans le sous-sol de la propriété atteinte. La réclamation devra avoir pour but exclusif la réparation des dommages ci-dessus définis .L'indemnité ne devra pas dépasser le montant de la perte subie ou de la réparation nécessaire définie ci-dessus.

La commission pourra rembourser les frais accessoires de construction, reconstruction ou modification des bâtiments et fournir des plans à cet effet.

Art. 23. — 1° Tout réclamant doit déclarer par écrit à la commission ou à l'autorité sanitaire, dans les six mois qui suivent l'apparition d'un dommage :

a) Qu'un dommage prévu par la présente loi a été causé à une

propriété par un affaissement du sol, postérieur à ladite loi et résultant de l'extraction d'eau salée;

b) Qu'il serait qualifié pour demander réparation si le dommage était causé par l'excavation illicite du sous-sol;

Il pourra présenter ensuite sa réclamation;

2° La commission fixera l'époque, la forme et les délais des réclamations ainsi que les preuves à fournir; aucune réclamation ne sera examinée si la déclaration ci-dessus a été omise et si les formes prescrites ne sont pas observées (sauf les dispenses qu'elle jugera convenable d'accorder);

3° La commission devra provoquer au moins une fois par an le dépôt des réclamations dans un délai fixé;

4° A l'expiration de ce délai, elle avisera tous les exploitants d'eau salée du district de toutes les réclamations, avec les noms des réclamants, les sommes demandées et les propriétés endommagées; elle publiera dans un journal local, un mois à l'avance, la date du jour où elle fixera les indemnités;

5° A cette date, elle examinera les réclamations régulières, statuera directement ou par arbitrage d'accord avec le réclamant.

Art. 24. — La commission repoussera la réclamation qu'elle ne jugera pas se rapporter à un affaissement ou qui se rapporte à un affaissement manifestement dû à une autre cause qu'à l'extraction d'eau salée ou pour laquelle (sous réserve de l'appel prévu ci-après) le réclamant n'est pas qualifié. Elle repoussera les réclamations dans la mesure où les dommages correspondants auraient été causés ou aggravés par la faute ou la négligence du réclamant ou de ses préposés, par vice ou luxe excessif de construction, eu égard aux possibilités d'affaissement menaçant la région. — Les exploitants d'eau salée pourront se faire entendre par la commission sur toute réclamation supérieure à 1.000 livres.

Art. 25. — La commission peut, en vertu d'une décision prise à une réunion notifiée à ses membres au moins vingt et un jours à l'avance, régler une fois pour toutes ou pour un certain nombre d'années un dommage considéré comme récurrent ou permanent ou devant continuer plusieurs années.

Art. 26. — Chaque indemnité accordée doit être certifiée par le secrétaire de la commission; elle peut être recouvrée comme une créance ordinaire à l'expiration des trois mois qui suivent le certificat.

Art. 27. — 1° Le réclamant disqualifié par la commission peut faire appel comme il est indiqué ci-après;

2° Un exploitant taxé peut appeler en vue de la disqualification l'un réclamant admis par la commission ;

3° Avis de l'appel doit être donné à la commission dans les trois semaines qui suivent la décision attaquée ;

4° L'appel doit être porté devant la Cour de comté compétente, suivant les règles ordinaires de procédure ;

5° Le jugement de la Cour peut être porté devant la Cour suprême suivant les règles ordinaires;

6° Les frais d'appel sont à la discrétion de la Cour compétente ;

7° S'il résulte de l'arrêt d'appel qu'une indemnité nouvelle doit être fixée, le réclamant doit se pourvoir devant la commission pour être discuté à nouveau, dans le sens fixé par l'arrêt d'appel.

Art. 28. — Toute personne lésée peut appeler d'une décision illégale de la commission, d'abord devant elle, ensuite devant la Haute Cour de justice, conformément à l'article 33, paragraphe 2, de la loi de juridiction sommaire 1879.

Art. 29. — Aucun appel n'est recevable quand la réclamation ne dépasse pas cent livres.

Art. 30. — La commission peut exiger que certaines indemnités soient employées à des travaux de remise en état, dûment constatés par ses surveillants.

Art. 31. — Elle peut, à l'amiable, acheter, louer, vendre ou échanger des terrains, et démolir et déplacer les bâtiments qui s'y trouvent, si elle les considère comme dangereux ou sur le point de le devenir.

Art. 32. — Elle peut, dans une réunion annoncée à ses membres ingt et un jours d'avance, décider qu'il est désirable qu'aucun timent ne soit érigé ou que tout bâtiment soit démoli sur taines terrains, ou qu'il y a lieu, pour des raisons valables, d'ache- certains terrains. En ce cas, elle jouit des pouvoirs d'expro- tion attribués aux autorités locales par la loi de salubrité lique 1875, sous les conditions ordinaires imposées auxdites rités.

t. 33. — Elle peut vendre un terrain acquis antérieurement nposant toutes conditions utiles pour l'usage futur de ce n et le droit d'y construire.

. 34. — Elle fera tenir un registre des terrains pour lesquels mmages seront compensés une fois pour toutes ou pour ırs années et des terrains vendus sous conditions, et four- ı plan indiquant la situation exacte de tous ces terrains. Ce : et ce plan seront conservés soit au secrétariat, soit à tout ıdroit fixé, et ouverts au public en tout temps et sans frais.

CONTRATS ANTÉRIEURS A LA LOI.

Art. 35. — Tout exploitant d'eau salée aura, pour le montant de sa taxe, un recours ordinaire contre la personne qui lui fournira le droit d'extraction en vertu d'un contrat antérieur à la présente loi, à moins de clause contraire.

TAXES.

Art. 36. — 1° La commission estimera périodiquement les sommes et la taxe nécessaires pour satisfaire aux réclamations, couvrir les frais généraux, et constituer le fonds de réserve prévu ci-après ;

2° La taxe sera payable un mois après sa fixation et la somme imposée sera recouvrée par la commission, soit sommairement comme une créance ordinaire, soit comme l'impôt d'assistance publique, soit par l'action d'une Cour compétente;

3° Les états-matrices dressés par la commission et revêtus de son sceau constitueront les titres nécessaires au recouvrement des taxes.

Art. 37. — Tout exploitant d'eau salée sera taxé.

Art. 38. — Les taxes ne devront pas dépasser au total, annuellement, trois pence (0f,30) par mille gallons (4.543 litr, 4) d'eau salée extraite dans l'année précédente.

Art. 39. — Pour asseoir la taxe, la commission doit :

a) Déterminer le volume total d'eau salée extraite dans l'année ou dans toute autre période ;

b) Fixer le taux par mille gallons correspondant à la somme nécessaire ;

c) Taxer chaque exploitant proportionnellement à son extraction déclarée, vérifiable par la commission.

Art. 40. — La commission fixera pour le mieux les méthodes d'évaluation de l'extraction d'eau salée pour chaque centre d'extraction.

Art. 41. — 1° Elle fixera la forme et les dates (pas plus d'une fois par mois) des déclarations d'extraction de chaque centre ainsi que les personnes chargées de les faire ;

2° Chaque infraction au paragraphe précédent sera passible, dans la forme sommaire, d'une amende ne dépassant pas vingt livres;

3° Elle peut convoquer devant elle les personnes chargées de faire les déclarations et tous leurs préposés, exiger la production

des livres et comptes et demander toute déclaration utile des personnes ainsi convoquées;

4° Toute omission à comparaître ou à répondre sera passible dans la forme sommaire d'une amende ne dépassant pas dix livres.

Art. 42. — Tout exploitant qui se croit lésé par une taxe peut faire appel devant les assises trimestrielles du comté par le motif que son extraction est inférieure à celle pour laquelle il est taxé.

La disposition de l'article 31 de la loi de juridiction sommaire 1879, modifiée par la loi de 1884, s'applique à ces appels.

Pour ces appels, la Cour des assises trimestrielles aura les mêmes pouvoirs de juridiction qu'en matière d'impôt d'assistance publique. Toutefois, même en cas d'annulation d'une taxe, elle sera néanmoins perçue à valoir sur le paiement de la taxe suivante.

Art. 43. — 1° Si la commission juge que le fonds de compensation est ou deviendra insuffisant, elle peut le déclarer et réduire en conséquence proportionnellement toutes les réclamations ultérieures;

2° Si une réclamation paraît de nature ou d'importance exceptionnelle, la commission peut échelonner le paiement correspondant avec ou sans intérêt sur un nombre d'années convenable; elle pourra suppléer à cette réduction momentanée d'indemnité au moyen de toute somme affectée au fonds de réserve.

FONDS DE RÉSERVE.

Art. 44. — La commission pourra constituer un fonds de réserve pour satisfaire aux réclamations exceptionnelles ou pourvoir aux déficits possibles de certaines années et, à cet effet, percevoir chaque année une taxe supérieure à celle qu'exigeraient les dépenses ordinaires; la taxe n'excédera en aucun cas le maximum de trois pence par mille gallons; tant que le fonds de réserve dépassera le total de la taxe maxima percevable en un an, aucune taxe additionnelle destinée à l'alimenter ne devra être perçue; au contraire, tant que ce maximum du fonds de réserve ne sera pas atteint la taxe maxima sera perçue. Les intérêts de ce fonds s'ajouteront au capital.

DIVERS.

Art. 45. — Les inspecteurs du gouvernement local ont pour les enquêtes prescrites par la commission les mêmes pouvoirs

que les inspecteurs de l'assistance publique. Les frais de ces enquêtes seront fixés par la commission conformément à la loi de gouvernement local 1888.

Art. 46. — Les comptes de la commission seront vérifiés périodiquement par un vérificateur des comptes d'assistance publique délégué par le gouvernement local; ce vérificateur aura les pouvoirs prévus par l'article 247 de la loi de salubrité publique 1875 pour la vérification des comptes d'une autorité municipale (autre que le conseil du chef-lieu). Cette vérification aura lieu conformément audit article modifié par la loi des vérificateurs de district 1879.

Art. 47. — Tout préposé de la commission aura le droit, à toute heure raisonnable, de visiter, d'inspecter et de surveiller les terrains, constructions ou locaux visés par des réclamations et, pour obtenir ou vérifier les renseignements nécessaires à la commission, de pénétrer dans les locaux correspondants ; toute personne qui s'y opposerait serait passible, dans la forme sommaire, d'une amende ne dépassant pas cinq livres.

Art. 48. — Les articles 182 à 186 inclus de la loi de salubrité publique 1875 s'appliquent à tous les règlements faits par la commission.

Art. 49. — Si l'existence d'une commission semble au gouvernement local devenue inutile, ce dernier peut, après une enquête, en provoquer la dissolution par un arrêté provisoire, qui règle la liquidation des comptes.

Art. 50. — Ne seront en aucun cas admis à indemnité :

1° Les compagnies de chemins de fer ou de canaux (excepté pour leurs propriétés isolées et étrangères au service du trafic) ;

2° Les compagnies de gaz ou d'eaux ;

3° Les comtés et les communes ;

4° Les autorités sanitaires, de voirie ou autres, locales ;

5° Les exploitants d'eau salée ;

6° Les propriétaires, en ce qui concerne les terrains pour lesquels ils reçoivent une redevance d'extraction d'eau salée ou de sel ;

7° Les propriétaires ou exploitants de salines et de soudières en ce qui concerne ces usines ;

8° L'administration de la Weaver navigable.

Il ne peut être exercé d'autres actions en dommages que celles prévues par la présente loi.

Art. 51. — Attendu que certains propriétaires et autres personnes du comté de Cheshire ont souscrit un fonds de 1.250 livres

en vue des frais et démarches nécessaires à l'obtention de la présente loi, il leur sera remboursé mille livres à prélever sur les premières taxes perçues sur le ou les districts comprenant les villes de Northwich et de Winsford. Les frais des administrations locales de ces villes, relatifs à l'élaboration de la loi, seront payés sur les ressources de ces villes.

ART. 52. — Dans ce qui précède :

Propriétaire signifie la personne qui touche les fermages ou loyers, ou les toucherait si la propriété était louée ;

Valeur imposable signifie la valeur imposable suivant la liste d'évaluation, ou, s'il n'y en a pas, suivant la dernière taxe d'assistance publique ;

Autorité sanitaire signifie les autorités urbaines ou rurales désignées dans la loi de 1875 ;

Exploitant signifie personne ou compagnie qui pompe ou extrait de l'eau salée, de puits, sources ou mines ;

Comté signifie le chef-lieu du comté ; et Conseil de comté signifie le maire, l'échevin et les représentants de ce chef-lieu.

A cette loi sont annexés huit articles relatifs au règlement intérieur des réunions de commission.

Conformément à cette loi de 1891, le gouvernement local a pris, sur la demande d'un certain nombre de propriétaires du comté, un arrêté provisoire instituant le district de compensation du Cheshire, comprenant la circonscription urbaine et une partie de la circonscription rurale de Northwich, et constituant une commission de compensation de neuf membres, dont trois nommés par le conseil de comté de Chester, deux par le conseil urbain, un par le conseil rural de Northwich et trois élus par les exploitants d'eau salée, dans les conditions prévues en annexe. Cet arrêté provisoire a été confirmé par une loi du 21 mai 1896, date de mise en vigueur de l'arrêté.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA SUÈDE POUR LES ANNÉES 1900 ET 1901.

La statistique de l'industrie minérale de la Suède, pour les années 1900 et 1901, fournit les renseignements suivants sur la production des mines et usines métallurgiques.

I. — Minerais.

	1900		1901	
	Production.	Valeur.	Production.	Valeur.
	Tonnes.	Francs.	Tonnes.	Francs.
Minerai de fer	(*) 2.609.500	20.797.115	(**) 2.795.160	20.090.757
— d'argent et de plomb	5.300	364.370	11.306	292.966
— de cuivre	22.725	515.291	23.600	525.681
— de zinc	61.044	2.652.308	48.630	1.971.195
— de manganèse	2.651	68.353	2.271	58.380
Pyrite de fer	179	2.141	»	»
Graphite	»	»	1.727	8.410

II. — Usines à fer.

	1900		1901	
	Production.	Valeur.	Production.	Valeur.
	Tonnes.	Francs.	Tonnes.	Francs.
Fonte	526.868	66.653.821	528.375	58.050.619
Massiaux et fers bruts en barres	188.455	35.219.393	164.850	26.530.685
Lingots Bessemer	91.065	16.504.939	77.231	12.199.937
— Martin	207.418	37.633.562	190.877	31.485.000
— de fusion au creuset	1.121	572.086	1.088	484.005
Fer et acier en barres	181.812	44.934.722	152.183	32.731.684
— en bandes, verges, etc.	70.638	17.761.731	67.203	14.727.763
Fer laminé en boucles (wire-rods)	30.947	7.736.355	21.932	5.044.769
Tôles fortes	18.214	4.814.141	13.856	3.459.050
Tubes en acier sans soudure	22.993	6.986.545	14.333	4.074.276

(*) Y compris 1.575 tonnes de minerais tirés de lacs et de marais.
(**) — 1.594 — —

Les hauts fourneaux ont produit, en moyenne, 3.903 tonnes en 1900 et 3.801 tonnes en 1901.

Le charbon de bois est, au point de vue pratique, le seul combustible employé dans les hauts fourneaux. Dans des cas très rares, comme pour la fabrication du spiegel, on le mélange avec un peu de coke anglais.

III. — Métaux autres que le fer.

	1900		1901	
	Production.	Valeur.	Production.	Valeur.
	Kilogrammes.	Francs.	Kilogrammes.	Francs.
Or	89	307.047	63	217.795
Argent	1.927	199.223	1.557	155.729
Plomb	1.423.874	587.677	988.396	328.203
Cuivre	136.007	254.818	132.382	231.923
Zinc sulfuré	26.772.000	2.232.785	26.160.000	1.854.482

IV. — Houille.

Les mines de houille sont exclusivement situées dans la Scanie, province la plus méridionale du royaume. On en a extrait 252.320 tonnes, valant 3.062.009 francs, en 1900, et, en 1901, 271.509 tonnes, valant 3.273.767 francs.

L'exploitation de ces mines a fourni, en outre, en 1900, 160.585 tonnes d'argile, valant 346.335 francs, et, en 1901, 175.876 tonnes, valant 425.478 francs.

V. — Autres substances.

	1900		1901	
	Production.	Valeur.	Production.	Valeur.
		Francs.		Francs.
Feldspath	15.228T	258.304	13.500T	227.878
Soufre	70.000kg	9.730	»	»
Sulfate de cuivre	1.264.946	695.000	1.224.040kg	646.538
— de fer	183.060	12.823	140.450	11.783
Alun	167.179	24.478	120.515	18.595
Plombagine	84.603	16.402	56.080	9.452
Pyrolusite réduite en poudre	450.000	28.148	500.000	31.275
Autres produits	3.497.753	72.928	5.194.428	117.144

VI. — Personnel ouvrier.

Les ouvriers employés dans les mines et usines ont été, en 1900, de 30.738, et de 30.776 en 1901, soit une augmentation respective, sur l'année précédente, de 924 et 38. Ces ouvriers se répartissent de la manière suivante :

1900.

	PERSONNEL OUVRIER				TOTA
	Souterrainement		A la surface		
	Hommes	Enfants (au-dessous de 18 ans)	Hommes	Femmes et enfants (au-dessous de 18 ans)	
Mines de fer	4.072	129	4.548	1.091	9.8
Autres mines métallifères	816	3	746	355	1.9
Mines de houille	1.281	128	385	40	1.8
Carrières de feldspath	72	»	123	72	2
Usines à fer	»	»	14.609	1.399	16.0
Autres usines	»	»	807	62	8
Totaux	6.241	260	21.218	3.019	30.7

1901.

	PERSONNEL OUVRIER				TOTA
	Souterrainement		A la surface		
	Hommes	Enfants (au-dessous de 18 ans)	Hommes	Femmes et enfants (au-dessous de 18 ans)	
Mines de fer	4.266	163	4.842	1.204	10.4
Autres mines métallifères	822	2	664	305	1.7
Mines de houille	1.440	142	392	124	2.0
Carrières de feldspath	59	»	90	68	2
Usines à fer	»	»	14.010	1.357	15.3
Autres usines	»	»	780	46	8
Totaux	6.587	307	20.778	3.104	30.7

VII. — Moteurs.

Le nombre des moteurs en activité, pendant les années et 1901, ainsi que la puissance motrice déclarée par les in triels, font l'objet du tableau ci-après :

1900.

	Moteurs employés				Totaux	
	Dans les mines		Aux autres exploitations minérales		Nombre	Puissance en chevaux
	Nombre	Puissance en chevaux	Nombre	Puissance en chevaux		
Moteurs à vapeur...	216	6.106	167	9.351	(*) 383	15.457
Moteurs à eau......	158	2.818	955	49.660	(**) 1.113	52.478
Autres moteurs.....	165	2.689	9	395	(***) 174	3.084
Totaux....	539	11.613	1.131	59.406	1.670	71.019

1901.

	Moteurs employés				Totaux	
	Dans les mines		Aux autres exploitations minérales		Nombre	Puissance en chevaux
	Nombre	Puissance en chevaux	Nombre	Puissance en chevaux		
Moteurs à vapeur...	203	5.966	172	9.562	(*) 375	15.528
Moteurs à eau.....	140	2.629	938	49.095	(**) 1.078	51.724
Autres moteurs...	207	4.053	11	437	(***) 218	4.490
Totaux....	550	12.648	1.121	59.094	1.671	71.742

VIII. — Accidents.

La statistique des accidents signalés dans les mines et usines comprend le nombre total des tués, et celui des blessés qui sont

(*) Pour 9 machines, la puissance n'a pas été connue, tant en 1900 qu'en 1901.

(**) Pour 7, en 1900, et 3, en 1901, de ces moteurs, la puissance n'a pas été connue.

(***) Dont 78, en 1900 et, en 1901, 89 manèges à colliers et autres moteurs sans puissance déclarée.

restés deux semaines au moins sans travailler. Elle est résumée ci-après, pour les années 1900 et 1901 :

1900.

	NOMBRE des accidents	NOMBRE DES VICTIMES		
		Tués	Blessés ayant subi un chômage de deux semaines au moins	Total
Dans les mines et dans les carrières de feldspath	382	14	370	384
Dans les usines	330	10	322	332
TOTAUX	712	24	692	716

1901.

	NOMBRE des accidents	NOMBRE DES VICTIMES		
		Tués	Blessés ayant subi un chômage de deux semaines au moins	Total
Dans les mines et dans les carrières de feldspath	393	10	384	394
Dans les usines	363	9	355	364
TOTAUX	756	19	739	758

En 1901, il y a eu 5 tués de moins et 47 blessés de plus qu'en 1900.

(Extrait de la *Sveriges officiela Statistik.*)

NOTE SUR UN EXEMPLE

DE

L'INSUFFISANCE D'UN GUIDAGE DIAMÉTRAL CONVERGENT

COMME DISPOSITIF ÉVITE-MOLETTES

Par M. A. BACHELLERY, Ingénieur au Corps des Mines.

Un grave accident survenu, en décembre 1901, par suite d'une mise aux molettes de la cage d'extraction dans un puits en fonçage sur lequel n'existait, comme dispositif évite-molettes, que la convergence donnée aux guides dans leur partie supérieure située dans le chevalement, nous a fourni un exemple typique de l'insuffisance de cette disposition lorsqu'il s'agit d'un guidage diamétral du système Briart.

Le puits dont il s'agit présente cette particularité que le guidage y est posé à mesure de l'avancement, de telle sorte que le service du fonçage et l'enlèvement des déblais s'y font par des cages, au moyen de la machine d'extraction et du chevalement définitifs. Son service est donc assez analogue à celui d'un puits marchant à l'extraction.

Il est armé d'un chevalement métallique mesurant 30 mètres de haut depuis la recette jusqu'à l'axe des molettes.

Le guidage, qui est du système Briart, se compose de rails à patin en acier pesant $34^{kg},200$ au mètre courant, fixés sur des moises diamétrales posées tous les $3^{m},50$. L'écartement des guides d'axe en axe mesure $2^{m},400$.

L'épaisseur du champignon est de 60 millimètres ; celle de l'âme, 12 millimètres. Ces rails s'élèvent dans le chevalement jusqu'à 1^{m},57 au-dessous de deux grosses poutres en fer protégeant immédiatement les molettes, lesquelles ont 6 mètres de diamètre.

Des taquets de retenue existent dans le chevalement, à 5^{m},26 au-dessous de ces poutres.

Les guides convergent sur toute la longueur des rails extrêmes, soit 7 mètres, de manière à n'avoir plus à leur extrémité que 2^{m},340 d'axe en axe. Ils sont reliés entre eux aux extrémités et au milieu de cette partie resserrée par trois tirants en fer.

Les cages employées à l'extraction des déblais sont d'un type spécialement étudié pour les besoins du fonçage et en tenant compte de ce que le guidage ne se prolonge jamais tout à fait jusqu'au fond du puits.

Les principales dimensions de ces cages sont les suivantes :

Hauteur................................	11^{m},000
Longueur (à l'extérieur des montants).....	1 ,600
Largeur................................	1 ,004

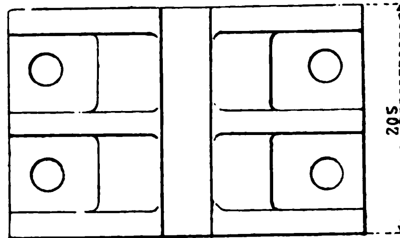
Le chapeau de la cage, composé d'un fort cadre en fer à U, déborde la cage elle-même et atteint 2^{m},160 de long. Ce chapeau, comme le corps de la cage, passe ainsi entièrement entre les guides.

Les mains de guides sont fixées à deux traverses horizontales de 2^{m},70 de long, formées de fers à U et rivées aux montants de la cage, l'une au niveau du chapeau, l'autre à 4^{m},75 plus bas.

Les mains de guides sont en fonte, et ont 70 millimètres d'ouverture. La *fig.* 1 représente l'une d'elles en coupe et élévation.

Elles sont assujetties aux traverses au moyen de 4 boulons de 22 millimètres.

La machine d'extraction, qui sert aux opérations du fonçage, comporte deux cylindres de 1^{m},20 de diamètre, avec une course de piston de 2 mètres, attaquant directement, par deux manivelles calées à angle droit, l'axe des tambours, qui sont cylindriques et ont 8 mètres de diamètre.



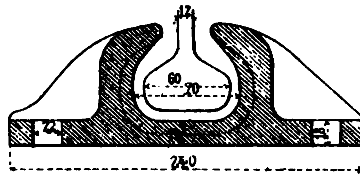


Fig. 1.

Pendant la période de fonçage, la machine marche sans détente. La pression habituelle aux chaudières est de 8^{kg},5.

L'effort moteur moyen ramené à la jante du tambour peut ainsi être évalué à 22.000 kilogrammes environ, et l'effort maximum à 25.000 kilogrammes.

Les câbles d'extraction sont en acier, à section uniforme, et pèsent 10^{kg},300 au mètre courant.

Le puits ayant, au moment de l'accident, 660 mètres de profondeur, le poids de chaque câble était de 6.800 kilogrammes.

Le câble d'équilibre dont seront munies les cages lorsque le puits marchera à l'extraction n'existait pas encore, de sorte qu'il se produisait, à la fin des cordées, des moments résistants négatifs assez considérables. La cage pleine chargée de deux bennes de déblais arrivant au jour, l'effort d'entraînement peut être évalué comme suit :

Poids du câble descendant........	6.800 kilogrammes.
Poids de 2 bennes de déblais.....	2.000
Différence......	4.800 kilogrammes.

Pour vaincre cet entraînement à la fin des cordées, non seulement le machiniste ferme l'arrivée de vapeur, mais il renverse la marche de la machine; celle-ci comprime alors dans ses boîtes à vapeur de l'air que l'on évacue peu à peu au moyen d'une soupape spéciale, et ce dispositif constitue en lui-même un moyen de freinage extrêmement puissant.

Un évite-molettes existe sur la machine, mais il ne fonctionne pas pendant la période de fonçage. Cet appareil, qui a pour effet de provoquer le serrage du frein à vapeur, si la vitesse dépasse un maximum tendant vers 0 à mesure que la cage s'approche de la recette, demande à être réglé pour une profondeur déterminée et ne permet pas de monter la cage dans le chevalement, ce qui constituerait une double gêne pendant cette période. En fait, on s'en fiait donc uniquement, comme dispositif évite-molettes, au resserrement du guidage.

Telles sont les conditions dans lesquelles fonctionnait ce puits lors de l'accident de décembre 1901.

Par suite d'une erreur dans la position du levier de changement de marche, le mécanicien ouvrit, à la fin d'une cordée de déblais, la vapeur en grand à la marche avant, en croyant battre contre-vapeur pour arrêter la machine. La vitesse s'accéléra aussitôt. La cage descendante vint se poser violemment au fond du puits, où elle écrasa un des neuf ouvriers occupés au fonçage. Quant à la cage montante, franchissant la partie resserrée du guidage, elle vint heurter les poutres situées sous les molettes, puis retomba sur les taquets de sûreté après rupture de l'attache du câble. Le cadre supérieur de la cage, qui seul avait assez de longueur pour porter sur ces taquets, se brisa sous le choc, et la cage tomba en morceaux jusqu'au fond du puits, blessant plus ou moins grièvement trois autres ouvriers.

Les constatations faites après l'accident nous ont donné

la certitude que la cage, malgré le resserrement du guidage, était montée jusqu'aux poutres qui protègent les molettes.

Les rails-guides, solidement assujettis par des tirants, n'avaient cependant pas été écartés et n'avaient subi aucune déformation par suite du passage de la cage. Par contre, les mains de guides, sur lesquelles, avec le guidage Briart, porte tout l'effort de coincement, n'avaient pas pu résister à la pression latérale ainsi développée. Les deux mains de guides supérieures ont été arrachées de leur traverse. L'une a eu ses quatre boulons cisaillés et a été retrouvée intacte sur le sol. L'autre a été retrouvée brisée par le milieu ; trois des boulons avaient été cisaillés et le quatrième était encore adhérent à l'une des moitiés de la main de guide, avec un morceau de l'âme de la traverse.

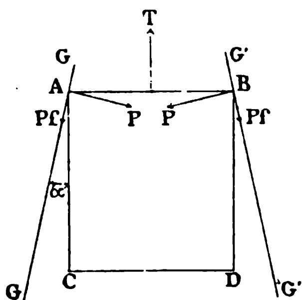


Fig. 2.

Des arrachements s'étaient d'ailleurs produits dans cette traverse au droit de tous les trous de boulons extrêmes.

Cherchons, par un calcul simple, et analogue à celui de l'équilibre du coin, à évaluer les efforts auxquels ont été soumises ces pièces.

Soit (*fig.* 2) la cage ABCD en équilibre entre les guides convergents GG, G'G', sous l'action de l'effort de traction T et des réactions des guides. Soit P la composante normale de chacune de ces réactions, et soit $f = \text{tang}\ \varphi$ le coefficient de frottement des mains de guides A et B sur les guides.

Soit enfin α l'angle d'inclinaison des guides sur la verticale.

On a l'équation d'équilibre suivante :

$$T = 2P \sin \alpha + 2Pf \cos \alpha = 2P \cos \alpha (\operatorname{tang} \alpha + \operatorname{tang} \varphi).$$

L'effort R qui tend à rapprocher les mains de guides sera donné par l'équation :

$$R = P \cos \alpha - Pf \sin \alpha = P \cos \alpha (1 - \operatorname{tang} \alpha \,.\, \operatorname{tang} \varphi).$$

D'où enfin :

$$R = \frac{T(1 - \operatorname{tang} \alpha \,.\, \operatorname{tang} \varphi)}{2(\operatorname{tang} \alpha + \operatorname{tang} \varphi)} = \frac{T}{2} \operatorname{cotg}(\alpha + \varphi).$$

L'angle α est très petit. Par exemple, dans le cas actuel, $\operatorname{tang} \alpha = \frac{3}{700}$. On peut donc, avec une approximation suffisante, négliger α devant φ, et écrire enfin :

$$R = \frac{T}{2f}.$$

Le cas le plus favorable au point de vue de la résistance des mains de guides est celui où f est grand, autrement dit celui où le guidage est mal graissé.

Alors f peut atteindre 0,25. Au contraire, dans le cas de guides bien graissés, f pourra s'abaisser à 0,10.

Suivant ces cas, R variera donc entre $\frac{T}{0{,}50}$ et $\frac{T}{0{,}20}$, soit de 2T à 5T.

Au moment de l'accident, la vapeur ayant été donnée en plein, la force T se composait de l'effort moteur de la machine fonctionnant à pleine pression, soit, comme on l'a vu, 22.000 kilogrammes en moyenne et 25.000 kilogrammes au maximum, et de l'effort d'entraînement résultant de la prépondérance du câble sur la charge utile, soit 4.800 kilogrammes. On peut donc évaluer T à 25.000 ou 30.000 kilogrammes, et par conséquent R, effort ten-

dant à rapprocher les mains de guides, aurait été compris entre un minimum de 50.000 kilogrammes et un maximum de 150.000 kilogrammes. Ces évaluations portent d'ailleurs sur des efforts statiques. Les efforts développés réellement ont pu être supérieurs à ces chiffres en raison de chocs, le coincement de la cage dans les guides ayant eu lieu en vitesse.

Cet effort considérable tendait à rapprocher les mains de guides en les faisant ainsi travailler à la traction, circonstance éminemment défavorable pour des pièces en fonte.

Dans leur section médiane, les mains de guides mesuraient 205 × 18 millimètres, soit 3.690 millimètres carrés. En prenant pour R sa valeur minima, 50.000 kilogrammes, cela donne déjà une fatigue de 13 à 14 kilogrammes par millimètre carré, ce qui dépasse la charge de rupture de la fonte à la traction.

Il n'est donc pas surprenant qu'une des mains de guides supérieures ait été retrouvée rompue dans cette section.

L'attache de la main de guide à la traverse, qui était soumise à sa suite à l'effort d'arrachement R, n'était pas plus résistante que la main de guide elle-même. Cette attache se composait en effet de quatre boulons de 22 millimètres, présentant au cisaillement une section totale de 1.520 millimètres carrés.

Pour R = 50.000 kilogrammes, cela correspond à une fatigue de 33 kilogrammes par millimètre carré, fatigue supérieure à la résistance du fer au cisaillement.

Ceci explique la rupture de presque tous les boulons qui reliaient les mains de guides supérieures à la cage.

Les mains de guides inférieures ont été moins éprouvées. Elles sont restées intactes, et un seul boulon de chacune a été rompu. Mais les six autres boulons qui retenaient encore ces mains de guides à leur traverse étaient tous à demi cisaillés.

Le peu d'importance relative de ces effets ne tient pa à un surcroît de résistance de ces pièces, qui étaient iden tiques aux précédentes, et qui ont été soumises exacte ment aux mêmes efforts, mais à la faible amplitude de déformations qu'elles ont subies par suite de leur positio même.

En effet, au moment où le sommet de la cage étai arrêté par les poutres protégeant les molettes, les main de guides inférieures se trouvaient seulement à mi-hau teur de la partie resserrée du guidage, où le rétrécisse ment n'atteignait que 3 centimètres, soit 15 millimètre de chaque côté. Le jeu des mains de guides étant d 5 millimètres de chaque côté, le déplacement réellemer subi n'a pas dépassé 1 centimètre, et cette déformatior que l'on retrouve sur les boulons qui sont restés en place n'a pas été suffisante pour en provoquer la rupture.

Mais, si la cage avait pu continuer sa course, ce mains de guides auraient certainement été arrachée comme les autres.

Encore nous sommes-nous placé, pour les évaluatio qui précèdent, dans le cas le plus favorable, de sorte qu les chiffres auxquels nous sommes arrivé ne représente que le minimum de la fatigue à laquelle ont pu être sou mises les diverses pièces. Il résulte de ce qui a été d plus haut que la fatigue réelle pouvait atteindre jusqu' trois fois ce minimum, soit 40 kilogrammes par millimètr carré pour la main de guide en fonte et 100 kilogramme environ pour les boulons qui la fixaient.

Pour que l'attache de la main de guide ait été capabl de résister à l'effort maximum de cisaillement auquel ell était ainsi exposée, il aurait fallu que la section des bou lons fût au moins 5 fois plus grande qu'elle ne l'était : o voit à quelles difficultés pratiques un pareil renforcemer aboutirait.

Quant aux mains de guides, même en les faisant e

acier, avec les dimensions actuelles, elles ne présenteraient encore qu'une résistance insuffisante, puisque l'effort maximum auquel elles peuvent avoir à résister s'élèverait à 40 kilogrammes par millimètre carré, et il faudrait par conséquent les renforcer notablement, d'autant plus que de pareilles pièces en acier moulé n'ont qu'une résistance assez incertaine.

En résumé, lorsque, sur un puits muni du guidage diamétral Briart, une cage monte dans le chevalement et s'engage sur la partie convergente des guides, sous l'action d'un effort de traction de l'ordre de ceux que peuvent développer les machines d'extraction, les mains de guides et leurs attaches se trouvent soumises à des efforts d'arrachement tels qu'il paraît bien difficile de leur donner des dimensions suffisantes pour leur permettre d'y résister à coup sûr.

Le calcul et l'expérience montrent au contraire que l'on doit s'attendre à ce que ces mains de guides cèdent sous l'effort en libérant la cage de toute relation avec le guidage.

On ne doit donc pas compter, avec le guidage Briart, sur la convergence des rails-guides pour empêcher la cage de monter jusqu'aux molettes, et en particulier un pareil dispositif ne saurait, à notre avis, être considéré comme suffisant pour satisfaire au paragraphe 2 de l'article 21 du règlement-type. Pour arriver, dans cet ordre d'idées, à un dispositif qui donne quelque sécurité, il faudrait se rapprocher de ce qui existe dans les puits où les guides enserrent la cage. Là, en effet, le guidage convergent présente une efficacité beaucoup plus grande, puisqu'il agit par écrasement de tout l'ensemble de la cage, qui constitue un système entretoisé très résistant et tel que l'effort de traction nécessaire pour en venir à bout serait généralement supérieur à la résistance du câble.

On arriverait à un résultat analogue, dans le cas d'un

...RE DES COLONIES

...ÉRALES

...oulu nous char-
...e ayant pour objet
...érales connues dans
...e rendre compte par le
nos observations au cours
de l'examen auquel nous
...tour en France, des nombreux
...t de minerais rapportés par nous
...s de la colonie.
... Nouvelle-Calédonie, qui n'a duré que
...s d'avril, mai, juin, et juillet 1902, et
...ons dû réserver une partie pour des études
...ministratif, a été trop court pour nous per-
...de consacrer plus de trois mois à nos tournées
les nombreuses régions minières de l'île; d'autre part,
...sence de tout chemin de fer, la rareté et la lenteur
des services de navigation autour de l'île, la restriction à
quelque 130 kilomètres seulement des routes carrossables,
l'état généralement mauvais des sentiers muletiers, et leur
absence complète sitôt que l'on s'éloigne des mines actuellement exploitées, rendent toute tournée dans les districts miniers aussi longue que pénible. Dans ces conditions, au cours des quatre-vingts et quelques journées que nous

guidage diamétral, en disposant dans le chevalement, de part et d'autre de la cage, des faux guides, en bois, présentant une convergence telle que la cage vienne s'y coincer avant d'atteindre les molettes et immédiatement après avoir dépassé les taquets de retenue.

Ces faux guides étant suffisamment robustes pour arrêter la cage, il pourrait même y avoir alors intérêt à supprimer la convergence des rails-guides, de telle manière que l'arrachement des mains de guides étant évité, la cage continue à être normalement guidée pendant la période de coincement.

RAPPORT A M. LE MINISTRE DES COLONIES

SUR

LES RICHESSES MINÉRALES
DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE

Par M. E. GLASSER, Ingénieur au Corps des Mines.

M. le Ministre des Colonies ayant bien voulu nous charger d'une mission en Nouvelle-Calédonie ayant pour objet l'étude des principales richesses minérales connues dans la colonie, nous avons l'honneur de rendre compte par le présent rapport des résultats de nos observations au cours de cette mission, ainsi que de l'examen auquel nous avons procédé, à notre retour en France, des nombreux échantillons de roches et de minerais rapportés par nous des différentes régions de la colonie.

Notre séjour en Nouvelle-Calédonie, qui n'a duré que pendant les mois d'avril, mai, juin, et juillet 1902, et dont nous avons dû réserver une partie pour des études d'ordre administratif, a été trop court pour nous permettre de consacrer plus de trois mois à nos tournées dans les nombreuses régions minières de l'île; d'autre part, l'absence de tout chemin de fer, la rareté et la lenteur des services de navigation autour de l'île, la restriction à quelque 130 kilomètres seulement des routes carrossables, l'état généralement mauvais des sentiers muletiers, et leur absence complète sitôt que l'on s'éloigne des mines actuellement exploitées, rendent toute tournée dans les districts miniers aussi longue que pénible. Dans ces conditions, au cours des quatre-vingts et quelques journées que nous

avons passées dans l'intérieur de la colonie, effectuant au total des parcours de près de 2.000 kilomètres à cheval et de 1.000 kilomètres à pied, et gravissant un très grand nombre de fois les quelque 500 ou 600 mètres (et souvent même plus) de dénivellation qui séparent du fond des vallées la majorité des gisements, c'est à peine si nous avons pu visiter presque toutes les mines actuellement exploitées, examiner la plupart de celles qui l'ont été dans le temps, et parcourir quelques-unes des régions qui sont réputées renfermer d'importantes richesses encore vierges.

Nous n'avons d'ailleurs pas seulement porté notre attention sur les conditions géologiques des gisements que nous visitions, nous en avons également examiné les conditions industrielles d'exploitation ou d'exploitabilité; nous avons enfin étudié les diverses questions générales qui touchent à l'industrie minière de la colonie et à la solution desquelles est lié l'avenir de cette industrie.

Après avoir fourni quelques indications générales sur les formations géologiques auxquelles sont associés les différents gisements de la Nouvelle-Calédonie, nous ferons connaître, pour chaque catégorie spéciale de produits minéraux, quels en sont les gîtes connus, quel est le développement des travaux auxquels ils donnent lieu, quelles sont les conditions industrielles dans lesquelles leur exploitation se poursuit, et de quel développement celle-ci paraît susceptible. Nous passerons ainsi successivement en revue les nombreuses richesses minérales de la colonie, c'est-à-dire d'abord le nickel, puis le cobalt, le chrome, et le fer, qui sont associés aux mêmes roches; nous parlerons ensuite du cuivre, de l'or, et de différents autres métaux, et enfin des gisements de charbon. Nous ferons connaître en terminant quelles sont les circonstances d'ordre général qui sont de nature à influer sur le développement de l'industrie minière du pays, et quelles sont les mesures qui pourraient en augmenter l'essor.

PREMIÈRE PARTIE.

LES DIFFÉRENTES FORMATIONS GÉOLOGIQUES DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE.

CHAPITRE PREMIER.

INDICATIONS GÉNÉRALES SUR LA GÉOLOGIE DE L'ILE.

A. — ÉTUDES GÉOLOGIQUES ANTÉRIEURES.

La première étude d'ensemble qui ait été faite de la géologie de la Nouvelle-Calédonie a été publiée en 1867; elle est due à M. Jules Garnier, qui, chargé par M. le Ministre de la Marine des fonctions d'Ingénieur chef du service des Mines de la Nouvelle-Calédonie, parcourut l'île de 1863 à 1866 dans presque toutes celles de ses parties qui étaient alors accessibles aux Européens. Cet auteur a donné (*) une description des différentes formations de la colonie en même temps qu'un aperçu de leur distribution géographique; il a étudié pour la première fois quelques-uns des points signalés comme aurifères et une partie des affleurements houillers; il a signalé l'abondance du fer chromé et des minerais de fer, ainsi que la présence de plusieurs gisements de cuivre; il a enfin, le premier, fait connaître l'existence de silicates magnésiens nickélifères en différents points de la colonie.

(*) *Essai sur la géologie et les ressources minérales de la Nouvelle-Calédonie*, par M. Garnier, Ingénieur civil (*Annales des mines*, 6e série, t. XII, p. 1 à 92, 1867).

Dix ans plus tard, M. Heurteau, Ingénieur au Corps des Mines, était chargé par M. le Ministre de la Marine et des Colonies d'une mission en Nouvelle-Calédonie ayant pour objet d'en faire connaître les richesses minérales. Après avoir étudié dans l'ensemble la constitution géologique de l'île et examiné d'une façon approfondie les régions qui paraissaient alors présenter le plus d'intérêt au point de vue minier, M. Heurteau rédigeait un remarquable « Rapport sur la constitution géologique et les richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie » (*). Cet important travail contient de précieux renseignements sur un grand nombre de points touchant à la géologie du pays et à ses gisements miniers, tout particulièrement en ce qui concerne l'or, le cuivre, et le charbon. L'insuffisance des cartes topographiques publiées à cette époque ne permettait pas encore la condensation de ces nombreux documents en une esquisse de carte géologique.

En 1892, M. Pelatan, Ingénieur civil des Mines, profitant de l'achèvement récent de la carte dressée d'après les travaux de la mission topographique militaire, publiait une carte géologique de la Nouvelle-Calédonie accompagnant une description géologique d'ensemble du pays et de ses mines (**) ; cet Ingénieur, « ajoutant aux observations des précédents explorateurs bon nombre d'observations personnelles », essayait de coordonner les unes et les autres en une description, appuyée d'une carte, donnant « une idée assez nette de l'allure générale des grandes masses géologiques qui ont concouru à la formation du sol néo-calédonien ».

(*) *Rapport à M. le Ministre de la Marine et des Colonies sur la constitution géologique et les richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie*, par M. Emile HEURTEAU, Ingénieur des Mines (*Annales des mines*, 7e série, t. IX, p. 232 à 454 ; 1876).

(**) *Les mines de la Nouvelle-Calédonie, Esquisse géologique de la colonie. Mines de charbon*, par Louis PELATAN, Ingénieur civil des Mines, ancien directeur de la Société le Nickel. Paris, publications du journal *le Génie civil*, 6, rue de la Chaussée-d'Antin (1892).

Ces divers auteurs, aidés des déterminations, faites en Europe ou en Australie, des fossiles recueillis au cours de leurs explorations, ont essayé de fixer l'âge des différentes formations de la colonie, sans parvenir encore à des résultats bien certains.

Enfin, en 1901, M. Maurice Piroutet, licencié ès-sciences, entreprenait dans la moitié Sud-Est de l'île une série de recherches géologiques et paléontologiques qui lui permettaient de préciser un certain nombre de points, et il vient de communiquer à la Société géologique de France une « Note préliminaire sur la géologie d'une partie de la Nouvelle-Calédonie » (*).

En dehors de ces études d'ordre général, il a été fait, sur un certain nombre de gisements ou groupes de gisements, différentes études particulières que nous aurons l'occasion de citer dans ce qui suit.

Notre mission devant avoir, en raison des instructions de M. le Ministre des Colonies et des vœux, tant de M. le Gouverneur que du Conseil général de la colonie, qui l'avaient motivée, un but plus pratique et industriel que scientifique, nous n'avons pas eu le loisir de nous livrer à des études géologiques d'ensemble, et nous ne pouvons qu'apporter, par d'assez nombreuses observations faites dans les régions plus spécialement minières, une modeste contribution à la connaissance générale des formations de la colonie. Nous ferons donc surtout emprunt, dans les quelques indications que nous croyons devoir donner ci-dessous sur la géologie de la Nouvelle-Calédonie, aux observations de ceux qui nous ont précédé et dont nous avons rappelé ci-dessus les travaux.

(*) *Bulletin de la Société géologique de France*, 4e série, t. III, p. 155 et suiv., 1903.

On a l'équation d'équilibre suivante :

$$T = 2P \sin\alpha + 2Pf \cos\alpha = 2P \cos\alpha (\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\varphi).$$

L'effort R qui tend à rapprocher les mains de guides sera donné par l'équation :

$$R = P \cos\alpha - Pf \sin\alpha = P \cos\alpha (1 - \text{tang}\,\alpha \,.\, \text{tang}\,\varphi).$$

D'où enfin :

$$R = \frac{T(1 - \text{tang}\,\alpha \,.\, \text{tang}\,\varphi)}{2(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\varphi)} = \frac{T}{2} \text{cotg}(\alpha + \varphi).$$

L'angle α est très petit. Par exemple, dans le cas actuel, $\text{tang}\,\alpha = \frac{3}{700}$. On peut donc, avec une approximation suffisante, négliger α devant φ, et écrire enfin :

$$R = \frac{T}{2f}.$$

Le cas le plus favorable au point de vue de la résistance des mains de guides est celui où f est grand, autrement dit celui où le guidage est mal graissé.

Alors f peut atteindre 0,25. Au contraire, dans le cas de guides bien graissés, f pourra s'abaisser à 0,10.

Suivant ces cas, R variera donc entre $\frac{T}{0{,}50}$ et $\frac{T}{0{,}20}$, soit de 2T à 5T.

Au moment de l'accident, la vapeur ayant été donnée en plein, la force T se composait de l'effort moteur de la machine fonctionnant à pleine pression, soit, comme on l'a vu, 22.000 kilogrammes en moyenne et 25.000 kilogrammes au maximum, et de l'effort d'entraînement résultant de la prépondérance du câble sur la charge utile, soit 4.800 kilogrammes. On peut donc évaluer T à 25.000 ou 30.000 kilogrammes, et par conséquent R, effort ten-

dant à rapprocher les mains de guides, aurait été compris entre un minimum de 50.000 kilogrammes et un maximum de 150.000 kilogrammes. Ces évaluations portent d'ailleurs sur des efforts statiques. Les efforts développés réellement ont pu être supérieurs à ces chiffres en raison de chocs, le coincement de la cage dans les guides ayant eu lieu en vitesse.

Cet effort considérable tendait à rapprocher les mains de guides en les faisant ainsi travailler à la traction, circonstance éminemment défavorable pour des pièces en fonte.

Dans leur section médiane, les mains de guides mesuraient 205 × 18 millimètres, soit 3.690 millimètres carrés. En prenant pour R sa valeur minima, 50.000 kilogrammes, cela donne déjà une fatigue de 13 à 14 kilogrammes par millimètre carré, ce qui dépasse la charge de rupture de la fonte à la traction.

Il n'est donc pas surprenant qu'une des mains de guides supérieures ait été retrouvée rompue dans cette section.

L'attache de la main de guide à la traverse, qui était soumise à sa suite à l'effort d'arrachement R, n'était pas plus résistante que la main de guide elle-même. Cette attache se composait en effet de quatre boulons de 22 millimètres, présentant au cisaillement une section totale de 1.520 millimètres carrés.

Pour R = 50.000 kilogrammes, cela correspond à une fatigue de 33 kilogrammes par millimètre carré, fatigue supérieure à la résistance du fer au cisaillement.

Ceci explique la rupture de presque tous les boulons qui reliaient les mains de guides supérieures à la cage.

Les mains de guides inférieures ont été moins éprouvées. Elles sont restées intactes, et un seul boulon de chacune a été rompu. Mais les six autres boulons qui retenaient encore ces mains de guides à leur traverse étaient tous à demi cisaillés.

Le peu d'importance relative de ces effets ne tient pas à un surcroît de résistance de ces pièces, qui étaient identiques aux précédentes, et qui ont été soumises exactement aux mêmes efforts, mais à la faible amplitude des déformations qu'elles ont subies par suite de leur position même.

En effet, au moment où le sommet de la cage était arrêté par les poutres protégeant les molettes, les mains de guides inférieures se trouvaient seulement à mi-hauteur de la partie resserrée du guidage, où le rétrécissement n'atteignait que 3 centimètres, soit 15 millimètres de chaque côté. Le jeu des mains de guides étant de 5 millimètres de chaque côté, le déplacement réellement subi n'a pas dépassé 1 centimètre, et cette déformation, que l'on retrouve sur les boulons qui sont restés en place, n'a pas été suffisante pour en provoquer la rupture.

Mais, si la cage avait pu continuer sa course, ces mains de guides auraient certainement été arrachées comme les autres.

Encore nous sommes-nous placé, pour les évaluations qui précèdent, dans le cas le plus favorable, de sorte que les chiffres auxquels nous sommes arrivé ne représentent que le minimum de la fatigue à laquelle ont pu être soumises les diverses pièces. Il résulte de ce qui a été dit plus haut que la fatigue réelle pouvait atteindre jusqu'à trois fois ce minimum, soit 40 kilogrammes par millimètre carré pour la main de guide en fonte et 100 kilogrammes environ pour les boulons qui la fixaient.

Pour que l'attache de la main de guide ait été capable de résister à l'effort maximum de cisaillement auquel elle était ainsi exposée, il aurait fallu que la section des boulons fût au moins 5 fois plus grande qu'elle ne l'était : on voit à quelles difficultés pratiques un pareil renforcement aboutirait.

Quant aux mains de guides, même en les faisant en

acier, avec les dimensions actuelles, elles ne présenteraient encore qu'une résistance insuffisante, puisque l'effort maximum auquel elles peuvent avoir à résister s'élèverait à 40 kilogrammes par millimètre carré, et il faudrait par conséquent les renforcer notablement, d'autant plus que de pareilles pièces en acier moulé n'ont qu'une résistance assez incertaine.

En résumé, lorsque, sur un puits muni du guidage diamétral Briart, une cage monte dans le chevalement et s'engage sur la partie convergente des guides, sous l'action d'un effort de traction de l'ordre de ceux que peuvent développer les machines d'extraction, les mains de guides et leurs attaches se trouvent soumises à des efforts d'arrachement tels qu'il paraît bien difficile de leur donner des dimensions suffisantes pour leur permettre d'y résister à coup sûr.

Le calcul et l'expérience montrent au contraire que l'on doit s'attendre à ce que ces mains de guides cèdent sous l'effort en libérant la cage de toute relation avec le guidage.

On ne doit donc pas compter, avec le guidage Briart, sur la convergence des rails-guides pour empêcher la cage de monter jusqu'aux molettes, et en particulier un pareil dispositif ne saurait, à notre avis, être considéré comme suffisant pour satisfaire au paragraphe 2 de l'article 21 du règlement-type. Pour arriver, dans cet ordre d'idées, à un dispositif qui donne quelque sécurité, il faudrait se rapprocher de ce qui existe dans les puits où les guides enserrent la cage. Là, en effet, le guidage convergent présente une efficacité beaucoup plus grande, puisqu'il agit par écrasement de tout l'ensemble de la cage, qui constitue un système entretoisé très résistant et tel que l'effort de traction nécessaire pour en venir à bout serait généralement supérieur à la résistance du câble.

On arriverait à un résultat analogue, dans le cas d'un

guidage diamétral, en disposant dans le chevalement, de part et d'autre de la cage, des faux guides, en bois, présentant une convergence telle que la cage vienne s'y coincer avant d'atteindre les molettes et immédiatement après avoir dépassé les taquets de retenue.

Ces faux guides étant suffisamment robustes pour arrêter la cage, il pourrait même y avoir alors intérêt à supprimer la convergence des rails-guides, de telle manière que l'arrachement des mains de guides étant évité, la cage continue à être normalement guidée pendant la période de coincement.

RAPPORT A M. LE MINISTRE DES COLONIES

SUR

LES RICHESSES MINÉRALES
DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE

Par M. E. GLASSER, Ingénieur au Corps des Mines.

M. le Ministre des Colonies ayant bien voulu nous charger d'une mission en Nouvelle-Calédonie ayant pour objet l'étude des principales richesses minérales connues dans la colonie, nous avons l'honneur de rendre compte par le présent rapport des résultats de nos observations au cours de cette mission, ainsi que de l'examen auquel nous avons procédé, à notre retour en France, des nombreux échantillons de roches et de minerais rapportés par nous des différentes régions de la colonie.

Notre séjour en Nouvelle-Calédonie, qui n'a duré que pendant les mois d'avril, mai, juin, et juillet 1902, et dont nous avons dû réserver une partie pour des études d'ordre administratif, a été trop court pour nous permettre de consacrer plus de trois mois à nos tournées dans les nombreuses régions minières de l'île; d'autre part, l'absence de tout chemin de fer, la rareté et la lenteur des services de navigation autour de l'île, la restriction à quelque 130 kilomètres seulement des routes carrossables, l'état généralement mauvais des sentiers muletiers, et leur absence complète sitôt que l'on s'éloigne des mines actuellement exploitées, rendent toute tournée dans les districts miniers aussi longue que pénible. Dans ces conditions, au cours des quatre-vingts et quelques journées que nous

Dix ans plus tard, M. Heurteau, Ingénieur au Corps des Mines, était chargé par M. le Ministre de la Marine et des Colonies d'une mission en Nouvelle-Calédonie ayant pour objet d'en faire connaître les richesses minérales. Après avoir étudié dans l'ensemble la constitution géologique de l'île et examiné d'une façon approfondie les régions qui paraissaient alors présenter le plus d'intérêt au point de vue minier, M. Heurteau rédigeait un remarquable « Rapport sur la constitution géologique et les richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie » (*). Cet important travail contient de précieux renseignements sur un grand nombre de points touchant à la géologie du pays et à ses gisements miniers, tout particulièrement en ce qui concerne l'or, le cuivre, et le charbon. L'insuffisance des cartes topographiques publiées à cette époque ne permettait pas encore la condensation de ces nombreux documents en une esquisse de carte géologique.

En 1892, M. Pelatan, Ingénieur civil des Mines, profitant de l'achèvement récent de la carte dressée d'après les travaux de la mission topographique militaire, publiait une carte géologique de la Nouvelle-Calédonie accompagnant une description géologique d'ensemble du pays et de ses mines (**); cet Ingénieur, « ajoutant aux observations des précédents explorateurs bon nombre d'observations personnelles », essayait de coordonner les unes et les autres en une description, appuyée d'une carte, donnant « une idée assez nette de l'allure générale des grandes masses géologiques qui ont concouru à la formation du sol néo-calédonien ».

(*) *Rapport à M. le Ministre de la Marine et des Colonies sur la constitution géologique et les richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie*, par M. Emile Heurteau, Ingénieur des Mines (*Annales des mines*, 7ᵉ série, t. IX, p. 232 à 454 ; 1876).

(**) *Les mines de la Nouvelle-Calédonie, Esquisse géologique de la colonie. Mines de charbon*, par Louis Pelatan, Ingénieur civil des Mines, ancien directeur de la Société le Nickel. Paris, publications du journal *le Génie civil*, 6, rue de la Chaussée-d'Antin (1892).

Ces divers auteurs, aidés des déterminations, faites en Europe ou en Australie, des fossiles recueillis au cours de leurs explorations, ont essayé de fixer l'âge des différentes formations de la colonie, sans parvenir encore à des résultats bien certains.

Enfin, en 1901, M. Maurice Piroutet, licencié ès-sciences, entreprenait dans la moitié Sud-Est de l'île une série de recherches géologiques et paléontologiques qui lui permettaient de préciser un certain nombre de points, et il vient de communiquer à la Société géologique de France une « Note préliminaire sur la géologie d'une partie de la Nouvelle-Calédonie » (*).

En dehors de ces études d'ordre général, il a été fait, sur un certain nombre de gisements ou groupes de gisements, différentes études particulières que nous aurons l'occasion de citer dans ce qui suit.

Notre mission devant avoir, en raison des instructions de M. le Ministre des Colonies et des vœux, tant de M. le Gouverneur que du Conseil général de la colonie, qui l'avaient motivée, un but plus pratique et industriel que scientifique, nous n'avons pas eu le loisir de nous livrer à des études géologiques d'ensemble, et nous ne pouvons qu'apporter, par d'assez nombreuses observations faites dans les régions plus spécialement minières, une modeste contribution à la connaissance générale des formations de la colonie. Nous ferons donc surtout emprunt, dans les quelques indications que nous croyons devoir donner ci-dessous sur la géologie de la Nouvelle-Calédonie, aux observations de ceux qui nous ont précédé et dont nous avons rappelé ci-dessus les travaux.

(*) *Bulletin de la Société géologique de France*, 4e série, t. III, p. 155 et suiv., 1903.

B. — Configuration de la Nouvelle-Calédonie.

La Nouvelle-Calédonie constitue, avec les îles et îlots qui s'alignent suivant sa direction au Nord-Ouest et au Sud-Est, une arête, longue de plus de 500 kilomètres sur une largeur maxima de 65 kilomètres, émergeant des grandes profondeurs de l'océan Pacifique ; ces profondeurs atteignent en effet plus de 2.000 mètres à très faible distance des côtes dans toutes les directions, même vers le Nord-Est entre la Grande-Terre et le groupe des îles Loyalty, qui sont distants entre eux de 80 kilomètres seulement. La Grande-Terre, dont la longueur est de 400 kilomètres et la largeur moyenne de 40 kilomètres, se développe entre 161° 43′ et 164° 45′ de longitude Est de Paris et entre 20° 5′ et 22° 24′ de latitude Sud ; sa superficie est de 1.611.700 hectares.

Elle est exceptionnellement montagneuse, toute sa partie centrale étant constituée par une série de massifs s'élevant à plus de 1.000 mètres d'altitude. L'ensemble de ces massifs est généralement désigné, d'une façon assez impropre, sous le nom de chaîne centrale, qui évoque l'idée d'une ligne de partage des eaux à peu près rectiligne entre les versants des deux côtes, ligne qui serait jalonnée par la série des sommets les plus élevés de l'île. Tel n'est pas du tout le caractère de l'orographie de la colonie ; il suffit pour s'en rendre compte de jeter un coup d'œil sur la carte hypsométrique de la Nouvelle-Calédonie, publiée par M. A. Bernard à la suite de sa géographie de la Nouvelle-Calédonie (*), et dont nous reproduisons les indications sur la carte ci-jointe (*fig.* 1, Pl. XI) :

(*) *L'archipel de la Nouvelle-Calédonie*, par Augustin Bernard, Paris, Hachette, 1895.

on constate d'abord que si, au Sud de la ligne de Bouloupari à Thio, tout l'intérieur de l'île est occupé par un puissant massif montagneux qui s'abaisse en un plateau vers le Sud-Est, ce massif est loin d'avoir le caractère d'une chaîne, puisqu'un grand nombre de ses plus hauts sommets flanquent à une assez grande distance à droite et à gauche la ligne de partage des eaux, dont ils dépassent souvent l'altitude [mont Koghis (*), mont Mou, dent de Saint-Vincent, sommet dominant la rivière de Kouakoué, sommet Nékando]. D'autre part, au Nord de la ligne Bouloupari-Thio, la distribution des massifs montagneux devient tout à fait capricieuse : la ligne de partage des eaux serpente du voisinage d'une côte au voisinage de l'autre pour passer par le plus grand nombre des massifs élevés, et ceux-ci se ramifient et s'étalent chacun isolément ; ils sont donc bien loin de former quoi que ce soit qui ressemble à la barrière rectiligne dont le nom de chaîne centrale évoque l'idée. Plusieurs cols coupent d'ailleurs cette ligne de partage des eaux à des altitudes relativement faibles (col de Kuenthio à 350 mètres d'altitude, passages de Bourail et de Poya à Houaïlou, de la rivière de Koné à la Tiwaka, et de la Iouanga à la Ouaième, etc., tous à moins de 500 mètres d'altitude). En outre, de nombreux massifs très importants par leur puissance et par leur altitude (sommet Nakada, Mé-moa, Sphinx, sommet Arago, Tchingou, Panié, sur le versant Est ; Poilou, Kopéto, Koniambo, Taom, Kaala, au voisi-

(*) Voir la carte (*fig.* 1, Pl. XI) annexée au présent rapport, sur laquelle nous avons reporté, soit d'après la carte à l'échelle de $\frac{1}{107.000}$ dressée de 1879 à 1886 par les officiers de la mission topographique, soit d'après la carte au $\frac{1}{100.000}$ du commandant Laporte, publiée par l'Union agricole calédonienne, soit d'après les levés du service topographique de la colonie, les indications et les noms nécessaires à la lecture de ce qui suit. Nous y avons également reproduit les lignes de niveau de la carte hypsométrique de M. Bernard.

nage de la côte Ouest) sont complètement détachés de la ligne de partage des eaux.

Ajoutons d'ailleurs qu'un grand nombre d'entre les sommets des diverses montagnes, surtout les sommets serpentineux des régions centrale et méridionale de l'île, sont escarpés et déchiquetés comme le sont souvent les hauts sommets de chaines ou de massifs d'altitude considérable, et comme ne peuvent guère l'être, surtout dans des parages où les actions atmosphériques sont aussi actives, que des massifs d'un âge récent.

Si nous insistons sur ces caractères géographiques, c'est qu'ils nous paraissent être en relation immédiate avec l'histoire géologique de la contrée : différentes autres considérations, et en particulier celles qui sont relatives à l'existence d'une bande corallienne presque continue se développant tout autour de l'île, ont conduit presque tous les géologues et géographes qui se sont occupés de la Nouvelle-Calédonie à admettre que cette île, relativement petite, n'est que le reste d'une terre plus vaste disparue par suite d'effondrements, et dont il ne subsiste plus aujourd'hui qu'une sorte d'arête. Cette arête comprend au Nord-Ouest, et par places dans le centre, les restes assez importants d'un ancien massif montagneux ayant peut-être affecté la forme d'une chaine unique, mais elle se trouve complétée par des amas de roches éruptives récentes ne s'alignant que grossièrement suivant la direction de la longueur de la Nouvelle-Calédonie. Cette direction, qui est Sud-Est Nord-Ouest, paraît, comme on sait, jouer un rôle important dans la structure générale du globe dans cette région du Pacifique; c'est en effet non seulement celle suivant laquelle s'allongent différentes îles ou différents groupes d'îles voisines (îles Salomon, pointe méridionale de la Nouvelle-Guinée, et péninsule d'Auckland), mais encore celle des traits capitaux de la configuration sous-marine de la portion de

l'océan Pacifique qui sépare ces différentes terres (*). Cette direction commune serait celle des cassures parallèles suivant lesquelles se serait produit l'effondrement des anciennes terres du Pacifique Sud-Occidental.

Telle est la notion, admise d'une façon générale croyons-nous, qui paraît dériver nécessairement de l'étude de la géographie physique de notre colonie et de ses environs. Lorsqu'il s'agit de fixer l'époque géologique à laquelle se sont produits les bouleversements qui ont donné à cette île sa situation et sa forme actuelles, on en vient à des hypothèses encore quelque peu hasardeuses ; suivant M. A. Bernard (**), les hypothèses les moins invraisemblables sont les suivantes :

La Nouvelle-Calédonie aurait été réunie à l'Australie orientale et à la Nouvelle-Zélande à une époque fort ancienne; elle aurait été séparée de la première de ces terres avant la fin des temps secondaires, tandis qu'elle serait restée réunie à la seconde jusqu'au crétacé supérieur ou au début des temps tertiaires. Les éruptions serpentineuses de la Nouvelle-Calédonie auraient été postérieures à cette dernière époque.

C. — Distribution d'ensemble des différents terrains de la colonie.

Sans nous attacher plus longtemps à ces considérations, sur lesquelles certaines questions intéressant directement les richesses minérales de la colonie nous feront revenir ultérieurement, nous passerons à une description rapide des différentes formations qu'on y rencontre; mais nous

(*) Voir la carte des profondeurs du Pacifique Sud-Occidental jointe à la carte hypsométrique de la Nouvelle-Calédonie qui accompagne l'ouvrage de M. Bernard ci-dessus cité.

(**) *Loc. cit.*, p. 108-109.

mentionnerons d'abord quelle est, dans l'ensemble, leur distribution géographique.

Les terrains primitifs, représentés surtout par des micaschistes, ne sont guère connus que dans la partie septentrionale de l'île dont ils forment le noyau, et dont ils constituent même les plus hauts sommets. MM. Garnier et Heurteau ne les signalent pas plus avant vers le Sud-Est que les bords de la Ouaième; M. Pelatan en note la présence dans la partie centrale de l'île entre Houaïlou et Bourail, où ni M. Piroutet ni nous-même ne les avons retrouvés; nous ne croyons pas qu'ils soient connus plus au Sud. Mais nous avons eu l'occasion de constater dans deux régions de la partie méridionale de l'île la présence du granite pointant au milieu des serpentines, et il est bien possible qu'il puisse être retrouvé ultérieurement en quelques autres points; dans les deux cas, nous n'avons pas observé que le granite fût accompagné d'autres roches primitives, gneiss ou micaschistes.

Les différents terrains sédimentaires, dont l'âge paraît s'échelonner depuis le précambrien jusqu'au tertiaire, sans constituer d'ailleurs une série bien complète, flanquent de part et d'autre les terrains primitifs; ils se prolongent tout le long de la côte Ouest de l'île, depuis son extrémité septentrionale jusqu'au Mont Dore, formant une bande d'épaisseur très variable qui atteint par places toute la largeur de l'île; ils ne bordent le rivage de la côte Est qu'entre la Ouaième et Ponérihouen.

Des roches éruptives d'âges divers jouent en outre un très grand rôle dans la constitution du sol calédonien; la plupart, pour ne pas dire toutes les assises sédimentaires, comprennent des coulées ou des filons de roches éruptives, parmi lesquelles M. Pelatan distingue des roches vertes anciennes ophitiques ou serpentineuses, des roches dioritiques, des roches mélaphyriques et porphyriques plus récentes, et enfin des roches serpenti-

neuses modernes. Ces dernières, qui sont de beaucoup les plus importantes au point de vue de la masse qu'elles représentent, sont également les plus intéressantes au point de vue des richesses minières de la colonie, puisque c'est à elles que sont associés tous les gîtes de nickel, de cobalt, et de chrome, et les plus importantes accumulations de minerai de fer; tandis que, comme l'a fait remarquer M. Heurteau, les autres métaux, c'est-à-dire l'or et le cuivre, ainsi que, peut-on ajouter aujourd'hui, le plomb argentifère, le zinc, l'antimoine, le mercure, le tungstène, etc., se trouvent dans les terrains primitifs ou anciens, et le charbon dans les sédiments récents.

Rappelons enfin que des formations coralliennes, les unes plus ou moins modernes, les autres encore vivantes actuellement, entourent l'île d'une ceinture presque continue.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION SOMMAIRE DES FORMATIONS PRIMITIVES ET SÉDIMENTAIRES.

Avant de décrire les différents gisements que nous venons d'énumérer, nous donnerons quelques indications sur les terrains et les roches qui les renferment.

A. — Terrains primitifs.

Le granite, avons-nous dit, ne nous est connu qu'en deux points de l'île : il apparait, d'une part, aux sommets du Petit Koum et du Grand Koum, massifs situés dans l'intérieur des terres, à quelque 5 ou 6 kilomètres à l'Ouest de Brindy (côte Est) ; d'autre part, cette même roche se rencontre dans le fond des vallées de la rivière de Saint-Louis et de la rivière de la Coulée, à une quinzaine de kilomètres à l'Est de Nouméa et à peu de distance du rivage de la côte Ouest ; le dernier de ces gisements avait été soupçonné par M. Garnier, qui avait trouvé des cailloux roulés de granite dans la rivière de Saint-Louis ; mais la présence de granite en Nouvelle-Calédonie n'a été mentionnée ni par M. Heurteau, ni par M. Pelatan : celui-ci déclarait même que les roches granitiques des âges anciens sont exclues de la série des roches calédoniennes.

Les deux massifs arrondis du Petit et du Grand Koum, situés sur la rive gauche de la basse vallée de la Comboui, aux sources de son affluent la Koua-Samy, s'élèvent à des hauteurs respectives de 600 et 700 mètres ; entourés

de sommets serpentineux plus ou moins déchiquetés, ils s'en distinguent non seulement par leur forme, mais aussi par l'abondance et la richesse de la végétation des ravins qui en descendent : c'est d'ailleurs en raison de cette particularité que ces montagnes avaient été signalées à notre attention par les habitants de la région, et c'est ce qui nous a conduit à aller reconnaître sur place la nature des roches qui les constituent. Le granite qui forme ces deux sommets est un granite à mica noir à texture granulitique ; il ne se montre d'ailleurs que sur un espace restreint, entouré qu'il est par une auréole de roches fort altérées dont on reconnait encore l'origine granitique, mais qui ont subi des actions, peut-être calorifiques, très énergiques : ces roches sont, en outre, souvent recouvertes de formations meubles de teinte claire où les produits d'origine granitique paraissent s'associer aux éléments ferrugineux provenant de la décomposition des serpentines.

A 50 kilomètres au Sud-Est, le granite apparait encore à côté des serpentines, dans le massif montagneux, de quelque 600 à 700 mètres d'altitude, d'où sortent la rivière de Saint-Louis et le ruisseau de la Coulée. Aux sources de ce dernier il constitue les parois d'un profond ravin : c'est un granite à structure granulitique, avec mica noir dominant associé à du mica blanc et à des minéraux accessoires, parmi lesquels abondent de petits cristaux d'apatite ; il diffère peu de celui que nous venons de signaler. On rencontre des filons de quartz avec petites paillettes de molybdénite associés à ce granite. Il est encaissé à droite et à gauche entre des serpentines dont nous n'avons pas pu observer le contact ; mais vers le Sud, c'est-à-dire à l'aval du ruisseau, il est en contact avec des formations sédimentaires, et il est sous-jacent à des bancs très redressés de schistes argileux noirs compacts avec pointements d'une roche verte fort altérée.

Un peu plus au Nord-Ouest, dans le cirque des Grosses-Gouttes, en plein massif serpentineux, réapparaissent des roches acides ; nous n'y avons trouvé un peu de granite dur et compact que dans le lit de la rivière, sous forme de galets roulés d'un granite semblable à celui de la Coulée ; mais le sol est formé, de part et d'autre de la rivière, d'une arène granitique qui paraît résulter de l'altération sur place, ou tout au moins d'un transport à faible distance, des éléments d'un granite à mica blanc dont on retrouve le quartz et le mica et dont les feldspaths sont kaolinisés ; ces éléments sont associés à de petits cristaux de topaze ; par places ces arènes sont légèrement aurifères. Il en est de même des sables de la rivière où l'on observe à la fois des débris de granite et de serpentine, et où l'or s'associe, dans les produits lourds, à de petits cristaux de topaze et au fer chromé provenant de la destruction de cette dernière roche. On trouve également du quartz à molybdénite dans cette formation granitique.

Le contact des roches serpentineuses et granitiques est ici, comme dans la région de la Comboui, dissimulé par un manteau de produits décomposés : une ligne de hauteurs serpentineuses domine le rivage au-dessus de Saint-Louis, et les péridotites y apparaissent plus ou moins serpentinisées avec leur faciès normal d'altération superficielle, et accompagnées des puissantes formations d'argile rouge que nous décrirons ci-après ; lorsque, franchissant cette ligne, on commence à descendre vers le cirque des Grosses-Gouttes, on voit ces formations argileuses superficielles prendre des colorations moins vives, se barioler de rouge plus clair et même de rose, et l'on peut ramasser des blocs argileux où apparaissent de petits noyaux blancs kaolinisés, en même temps que l'on commence à rencontrer des débris quartzeux ; des traces d'or apparaissent en outre ici ou là au lavage de ces terres superficielles. On arrive ainsi insensiblement au cirque,

uniquement constitué d'arène granitique, que nous venons de décrire, sans avoir pu voir le contact, qui serait pourtant fort intéressant à observer en détail, des serpentines et du granite.

Les massifs du Grand et du Petit Koum, tout comme les affleurements de la Coulée et des Grosses-Gouttes, nous paraissent devoir être considérés comme des témoins de l'ancienne ossature de l'île, n'ayant pas disparu sous la masse de péridotite, pourtant si continue, qui en a envahi toute la région méridionale ; ou du moins, s'ils ont été à une époque recouverts par la roche éruptive récente, ne l'ont-ils été que par une épaisseur suffisamment faible de celle-ci pour que l'érosion leur fasse revoir le jour.

Si le granite est rare en Nouvelle-Calédonie, le gneiss l'est peut-être presque autant, puisqu'il ne paraît exister qu'au voisinage de l'arête culminante du puissant massif de micaschistes qui se développe au Nord de l'île, entre la côte orientale, la vallée du Diahot, et celle de la Ouaième. Encore ce sont, presque partout le long de cette arête, des micaschistes dont on peut observer la présence, de même que ce sont ces roches qui dominent parmi les galets roulés par les ruisseaux qui en descendent, et le gneiss n'a été signalé, à notre connaissance, qu'auprès des cascades de Tao par M. Pelatan ; il est d'ailleurs possible qu'il se développe en outre sur une certaine étendue au voisinage des sommets des monts Ignambi, Panié et Colnett, région encore à peu près inconnue.

Les micaschistes, au contraire, ont une extension des plus importantes dans cette même partie de la colonie ; ils y présentent des aspects divers, variant depuis des types extrêmement chargés en mica ou en chlorite, avec un développement considérable de minéraux secondaires parmi lesquels dominent le grenat, l'amphibole, le glauco-

phane, l'épidote, le rutile, la pyrite, etc., jusqu'à des schistes argileux à peine micacés, en passant par l'intermédiaire de schistes ardoisiers et lustrés; partout les veines et filons de quartz sont fort abondants.

Ce sont ces roches qui, apparaissant déjà dans l'île de Balabio et dans l'îlot de Pam, constituent à elles seules ou peu s'en faut, la puissante et haute barrière aux raides escarpements qui s'étend le long de la côte Est depuis Pam jusqu'à l'embouchure de la Ouaième, premier tributaire important de l'Océan à partir de Pam sur la côte orientale; elles paraissent limitées vers le Sud-Ouest par une ligne empruntant la majeure partie du cours du Diahot et celui de la Ouaième. Cette barrière, longue de 70 kilomètres, et dont l'altitude se maintient au-dessus de 1.000 mètres sur une longueur de plus de 20 kilomètres avec les sommets Panié (1.630 m.) et Colnett (1.514 m.), n'est entamée par aucune vallée de quelque importance. Vers le Nord-Est, elle présente au voisinage immédiat de la mer un ressaut de 300 à 400 mètres d'altitude, du bord duquel se précipitent en hautes cascades les ruisseaux qui prennent naissance dans les gorges boisées et presque constamment arrosées des monts Panié et Colnett. Ce ressaut, si accusé, correspond peut-être bien à une modification dans la nature des roches, c'est-à-dire sans doute au passage des gneiss aux micaschistes. Vers le Sud-Ouest, une série de petits ruisseaux s'écoulent vers le Diahot, dont le cours sinueux paraît suivre à peu près la ligne de séparation entre les micaschistes, roches relativement dures conservant des contours accusés, et les schistes argileux beaucoup plus tendres qui donnent lieu à la formation de mamelons arrondis. Aucun chemin ne franchit cette chaîne puissante ; elle est naturellement peu accessible à partir des différentes localités colonisées du Nord-Est, et l'on ne peut s'y enfoncer à partir du Diahot qu'en remontant son cours d'abord, puis celui de ses affluents

ensuite, dans des montagnes qui ne sont habitées que par quelques tribus canaques réputées pendant longtemps, et aujourd'hui encore, peu hospitalières aux blancs. Aussi toute cette région est-elle à peu près inconnue, non seulement au point de vue géologique et minéralogique, mais même au point de vue plus pratique des richesses minérales; si bien qu'il circule encore une sorte de légende d'après laquelle l'or y serait abondant, sans qu'aucun renseignement précis puisse être obtenu à ce sujet.

Mieux connue est l'extrémité septentrionale de cette chaîne de micaschistes : à partir du mont Ignambi la ligne de crête s'abaisse, les pentes qui en descendent deviennent notablement plus douces, surtout vers la côte, et des cols d'altitudes faibles (col de Poraris, 450 m. : col de Balade, 500 m., et col d'Amos, 376 m.) la découpent; le cours inférieur du Diahot, à peu près navigable et peu encaissé, donne un assez rapide accès aux vallons des ruisseaux qui en proviennent; enfin la découverte, déjà vieille puisqu'elle remonte maintenant à plus de trente ans, de mines de cuivre et d'or qui se sont montrées partiellement exploitables, y a conduit bien des chercheurs et quelques ingénieurs. Cette dernière région a été étudiée par M. Heurteau, qui avait franchi la crête entre Balade et Ouégoa par le col de Balade, et c'est celle à laquelle se rapportent principalement les descriptions de M. Pelatan. Nous avons pu nous-même non seulement longer ce massif sur toute la longueur de son flanc Nord-Est et sur la moitié de la longueur de son flanc Sud-Ouest et en traverser la crête au col d'Amos, mais nous avons encore pu remonter et explorer plusieurs des vallons qui en descendent, soit vers la mer, soit vers le Diahot.

Ainsi que l'a signalé M. Heurteau, les micaschistes accusent en général une direction Nord-Est, variant du N. 20° E. au N. 55° E., c'est-à-dire sensiblement normale à la direction suivant laquelle s'allonge l'île, direc-

tion qui est en même temps non seulement celle suivan laquelle s'alignent les grands massifs serpentineux, mai aussi celle suivant laquelle se prolongent les bandes sédimentaires du trias, du lias, et du crétacé.

Le type de roche qui nous a paru être le plus fréquen dans ce massif, tout au moins vers le Nord, est un micaschiste, ou plutôt un séricitoschiste, finement feuilleté, souvent cannelé par suite du plissement de ses feuillets extrêmement riche en mica blanc, et présentant une teint verdâtre ou bleuâtre due à la chlorite dont il est généralement chargé. Telle est la roche qui est abondante au dessus de Balade sur la côte Est et aux environs d'Ouégo sur le versant du Diahot; elle paraît dominer égalemen plus haut dans la vallée de cette rivière, puisque c'es encore elle qui forme la majeure partie non seulemen des terrains que l'on rencontre en remontant la rive droit du Diahot entre Bondé et le ruisseau d'Andam, mais encor des galets roulés que l'on ramasse dans ce ruisseau.

Le long de la côte Est, se trouvent également des séricitoschistes, mais ils présentent généralement une couleu rosée due à l'oxydation plus ou moins complète des éléments ferrugineux qu'ils renferment; ils sont en plusieurs points riches en rutile; on rencontre d'ailleurs également, associés à eux, des chloritoschistes verts à large tables de chlorite avec cristaux de pyrite abondants.

Au contraire, l'extrémité Sud-Est du massif de micaschistes est formée de roches où le mica est moins dominant; ce sont des schistes gris foncé, pseudo-ardoisiers, lustrés et semés de mica seulement en petites paillettes; il constituent en particulier les escarpements qui dominen l'embouchure de la Ouaième et qui se développent à partir de là sur une assez grande étendue vers le Nord

L'abondance exceptionnelle du quartz dans ces formations est à relever : il apparaît non seulement sous form d'yeux plus ou moins volumineux entre les feuillets de

micaschistes, mais encore en grosses masses d'un blanc laiteux constituant soit des amygdales, soit des filons assez puissants; l'activité, toute particulière sous ces climats, des actions atmosphériques amenant la destruction rapide des micaschistes, ces éléments quartzeux subsistent comme témoins de cette destruction; ils jonchent le sol sous forme, tantôt de cailloutis, tantôt de blocs énormes, qui, reluisant de loin sous les rayons du soleil, donnent aux sommets des montagnes un aspect quelquefois comparable à celui de sommets neigeux; nous aurons d'ailleurs à mentionner un phénomène du même genre, quoique moins marqué, dans les régions de schistes argileux.

Quant aux nombreux minéraux, dont beaucoup sont vraisemblablement d'origine métamorphique, que l'on trouve dans la région, nous devons citer tout d'abord l'amphibole : elle apparaît non seulement en cristaux plus ou moins abondants d'actinote ou de hornblende, mais aussi sous forme de masses d'amphibolite généralement grenatifère, tout particulièrement abondantes au voisinage des gisements de cuivre de Ouégoa, et que M. Garnier signale également à Pouébo. L'amphibole s'y trouve d'ailleurs souvent sous la forme d'une variété passant au glaucophane.

Mentionnons ensuite le glaucophane typique dont la présence dans cette région, signalée(*) à une époque où on ne connaissait encore ce minéral que dans l'île de Syra, mais après laquelle on l'a retrouvé en beaucoup de points dans des roches métamorphiques, est très remarquable à la fois par l'extension et par la variété des roches où elle se rencontre. Nous avons en effet recueilli, en dehors

(*) Le glaucophane a été déterminé par M. Ch. Friedel dans les échantillons rapportés par M. Heurteau.

des amphibolites grenatifères dont l'amphibole passe au glaucophane, des roches de même texture essentiellement constituées de véritable glaucophane et contenant en outre des cristaux tantôt de grenat, tantôt d'épidote, tantôt de mica blanc ; puis des séricitoschistes dont la pâte est criblée de très petites baguettes cristallisées de glaucophane, et d'autres où ces cristaux s'isolent en individus volumineux ; enfin des agrégats de baguettes de glaucophane à peine cimentées par une matière tantôt ferrugineuse, tantôt kaolinique, et souvent associées à de petits cristaux de grenat. Nous avons rencontré les premières d'entre ces roches au voisinage de la mine de cuivre de la Balade près d'Ouégoa, et les autres sur les gisements d'or Rose et Berthe près du col d'Amos ; nous avons en outre trouvé des cristaux de glaucophane dans les sables de la rivière d'Andam au delà de Bondé, et dans ceux de Galarino ; enfin M. Heurteau a signalé des roches à glaucophane à Oubatche ; l'ensemble de ces observations montre que la formation à glaucophane s'étend sur presque toute la longueur (soit 50 kilomètres au moins sur 70) du massif de micaschistes.

Le grenat almandin est fréquent en tous les points où nous avons observé les micaschistes ; il est particulièrement abondant de part et d'autre de la crête entre Balade et Pam, et nous en avons recueilli de volumineux échantillons dans les micaschistes qui bordent la côte Est entre la rivière d'Amos et Pam ; les roches à glaucophane, tant celles du col d'Amos que les amphibolites plus ou moins riches en glaucophane d'Ouégoa, sont semées d'individus, parfois gros et toujours bien cristallisés, de grenat. En outre, les sables lourds de la rivière d'Andam contiennent de nombreux grenats.

Le rutile est particulièrement abondant sur la côte Est entre Galarino et la rivière de Pouébo ; nous y avons recueilli aussi bien du quartz traversé de baguettes de rutile que

de gros cristaux de rutile isolés provenant de sables de rivière; les sables d'Andam sont assez chargés de petits rutiles; enfin les roches à amphibole et à glaucophane d'Ouégoa en contiennent des cristaux microscopiques.

La tourmaline se rencontrerait, d'après M. Garnier, dans les ruisseaux des environs de Balade, et il y signale également de l'andalousite.

La pyrite est abondante un peu partout : à Galarino, au-dessus de Balade, à Ouégoa, etc.; elle paraît d'ailleurs généralement associée soit à l'or, soit au cuivre dont elle contient des traces; le fer magnétique existe de même en assez grande abondance dans toutes ces roches; nous avons également rencontré du fer titané dans un quartzite au voisinage d'Ouégoa.

Enfin le cuivre, l'or, et des traces de mercure et même de platine sont associés à cette formation; l'or paraît y être disséminé sur presque toute son étendue ; le cuivre n'a guère été signalé qu'aux environs immédiats d'Ouégoa; le cinabre n'existe à notre connaissance que dans les sables de la rivière d'Andam; il en est de même du platine. Nous reviendrons en détail dans ce qui suivra sur les conditions dans lesquelles se rencontrent ces différents métaux.

B. — Schistes anciens.

Autour de ce massif de micaschistes apparaissent des formations de schistes moins cristallins, auxquels on est naturellement conduit à attribuer un âge plus récent : c'est ainsi que sur la lisière Sud-Ouest du massif se développent les innombrables mamelons arrondis de la rive gauche du Diahot, constitués par des schistes argileux noirs assez tendres criblés de filonnets quartzeux. Aux affleurements, les actions atmosphériques, qui ont désagrégé les schistes, ont laissé le sol comme saupoudré

de cailloux de quartz blanc, donnant lieu sur les sommet
à un effet analogue à celui que nous avons signalé pou
les micaschistes; cet effet est particulièrement marqu
pour la chaîne de mamelons qui s'allonge dans la pres
qu'île d'Arama; d'autre part, les schistes ont été décoloré
par l'oxydation et présentent des tons qui varient du ros
pâle au vert pâle. Dans ces schistes apparaissent de
filons et des dykes de roches éruptives basiques qu
paraissent être en relation assez nette avec les gîte
métallifères, cuivre et plomb argentifère, de la riv
gauche du Diahot. Il s'y rencontre également des bande
de calcaire cristallin sur lesquelles nous aurons à revenir

Cette formation se développe, parallèlement à la côt
Ouest, depuis la presqu'île d'Arama jusqu'au delà de Voh
mais elle est presque partout séparée de la mer par l
bourrelet que constitue la succession des massifs serpen
tineux de la presqu'île de Poume, du Tiebaghi, du Kaala, d
Taom, du Koniambo, du Kopéto, des aiguilles de Mué
et enfin du Mé-Maoya.

Vers le Sud-Est, au contraire, le passage des schiste
cristallins aux schistes nettement sédimentaires se fai
sans transition brusque : nous avons mentionné à l'em
bouchure de la Ouaième l'existence de schistes fissile
noirs à petites paillettes abondantes de mica, que nou
rangeons encore, avec MM. Garnier et Pelatan, dans le
micaschistes; sur la rive droite de la Ouaième, le puis-
sant massif de la roche Ouaième est également cons-
titué par des schistes noirs à aspect satiné où l'on retrouv
encore des filons de quartz et par places des cristaux d
pyrite et de grenat; ils sont cependant dans l'ensembl
moins cristallins, et ils passent d'une façon presque insen-
sible, entre la Ouaième et Hienghène, à des schistes noirs,
fissiles, presque ardoisiers, mais qui n'ont plus du tou
le caractère cristallin. Ces derniers se rapprochent déjà
beaucoup des schistes argileux noirs à filonnets de quartz

que nous avons vu constituer tous les massifs de la rive gauche du Diahot, et qui offrent sur la côte Est un développement considérable entre Touho et Ponérihouen ; ils forment ici une côte basse et souvent marécageuse dont l'aspect est tout différent de celui de la côte abrupte que l'on voit à quelque 50 kilomètres plus au Nord. Ces schistes offrent presque les mêmes caractères que ceux du Diahot, et les mêmes aspects aux affleurements ; comme eux, ils sont coupés de dykes et de massifs de roches éruptives basiques ; on y trouve également quelques pointements porphyriques ; nous n'avons pas connaissance que la présence du cuivre y ait été signalée.

Plus loin vers le Sud, les massifs serpentineux, puis les formations triasiques, apparaissent le long de la côte orientale, et les schistes argileux anciens vont se terminer en biseau à hauteur de Houaïlou, non sans laisser apparaître le noyau de schistes plus métamorphisés que nous avons déjà mentionné. M. Pelatan porte sur sa carte une région de micaschistes ; nous ne les avons pas observés personnellement, ainsi d'ailleurs que M. Piroutet ; mais nous avons trouvé, soit à la limite même que fixe M. Pelatan entre les micaschistes et les schistes anciens dans la vallée de la Ponéo, soit à l'intérieur du périmètre qu'il assigne aux micaschistes dans la haute vallée de la Douencheur, des schistes phylladiens, noirs et très quartzeux ici, bigarrés de rose ou de vert et légèrement micacés là.

Les schistes argileux reparaissent au-dessus de Canala et de Nakety, où ils forment un important massif, dans lequel ils présentent exactement les mêmes caractères que ceux que nous venons de décrire ; ils se montrent encore associés à des roches vertes où l'on a trouvé du cuivre (vallée de la Négropo) et près desquelles on a même signalé la présence de l'or (rivière de Nakety et région de Ciu).

L'âge de cette formation schisteuse, qui occupe e surface presque le quart de la colonie, doit être considéı comme inconnu; on admet généralement qu'elle corre pond en tout ou partie à l'ère primaire, mais on n'e a pas de preuve certaine; néanmoins une partie de ce schistes paraissent bien être sous-jacents à ceux doı quelques fossiles ont permis de fixer l'âge comme triasiqu M. Piroutet les regarde comme paléozoïques et considèı les phyllades de la base comme précambriens; l'analog assez grande qu'ils présentent par endroits avec les pui santes formations de schistes siluriens que nous avoı vues en Nouvelle-Galles du Sud nous serait une raisc d'accepter une assimilation avec cette formation.

M. Heurteau, et aussi M. Garnier, ont décrit dans cet formation des schistes serpentineux et des serpentines mettant à part les zones de contact des schistes et de massifs de péridotite, sur lesquelles nous fourniroı quelques indications dans ce qui suit, nous n'y avons reı contré que quelques gisements de talcschistes plus c moins compacts avec baguettes d'actinote, et, comn nous l'avons dit plus haut, des filons et des dykes d roches vertes qui sont des ophites, et des diabases c des hypérites, très fortement altérées, différant tout à fa des serpentines par leur aspect et par leur constitutioı les serpentines, c'est-à-dire les roches dérivées des pér dotites de la puissante formation que nous définiroı ci-après, ne nous ont paru nulle part s'intercaler daı les bancs de schistes ou les recouper à la manière c filons ou d'intrusions, mais seulement s'y superpose sous la forme de gros massifs, qui constituent la borduı de la côte Ouest et une partie de la chaîne centrale partir du Oua-Tilou. Notons cependant que l'on nous signalé, sans qu'il nous ait été loisible de vérifier l'exac titude de ce renseignement, l'existence de quelques ilo de serpentine avec son cortège d'argiles rouges, de graiı

ferrugineux et de quartz cariés, dans des massifs schisteux et même dans le massif des micaschistes; ce ne pourraient être, suivant nous, que de petits massifs isolés de la grande formation serpentineuse, superposés aux schistes au même titre que tous les massifs beaucoup plus importants de la même formation qui se rencontrent dans le Nord de la colonie.

C. — Massifs calcaires.

Pour compléter cette série sédimentaire ancienne, apparaissent, au milieu des schistes, des calcaires cristallins très siliceux, qui seraient même par places dolomitiques suivant M. Pelatan. Encaissés dans les schistes argileux dont nous avons mentionné le caractère peu résistant, ces calcaires, beaucoup moins accessibles aux effets des agents atmosphériques, doivent tout naturellement y faire saillie en présentant les formes escarpées qu'affectent fréquemment les roches de semblable nature. C'est ce qu'on observe avec beaucoup de netteté le long de la côte Est, immédiatement au Sud de Hienghène et jusque dans la baie même de Hienghène : une gigantesque barrière de ces calcaires aux profils excessivement escarpés, creusés par places de grottes et de cavernes, et noircis par l'action de l'air, se dresse sur une grande longueur à peu de distance de la côte; elle n'est coupée que par des gorges ou des ravins étroits où sont encaissés les cours d'eau qui descendent à la mer, tandis qu'à quelques kilomètres plus au Sud, là où les calcaires ne bordent plus la côte, de petites rivières, comme la Tiouaé et la Tiponite, étalent leur embouchure en des marais très étendus sur un sol uniquement schisteux.

A Hienghène, la ligne de ces calcaires, qui court un peu obliquement au rivage, recoupe celui-ci pour se prolonger en mer par les deux rochers pointus des tours

Notre-Dame, qui forment deux îles à l'entrée de la baie, puis elle disparaît sous les eaux. Vers le Sud, la barrière calcaire longe le rivage à peu de distance sur une dizaine de kilomètres, puis elle paraît s'enfoncer plus avant dans l'intérieur des terres, dissimulée aux yeux de celui qui longe la côte par les massifs schisteux et éruptifs dont les contreforts s'avancent jusqu'au rivage. Mais en remontant le cours de la Tiwaka, M. Garnier a retrouvé, à quelque 20 kilomètres dans l'intérieur, des calcaires appartenant à la même formation, bien qu'ils présentent des colorations roses et vertes, notablemen différentes de celles que nous avons observées auprès de la côte ; ils constituent dans le relief du terrain un ressaut donnant lieu, sur le cours de la rivière, à une cascade d'une vingtaine de mètres de hauteur. Le prolongement vers le Sud-Est de cette ligne de calcaires paraît encore être marqué par ceux que M. Pelatan signale à Houaïlou et par ceux que nous avons observés nous-même dans le fond de la vallée de Kouaoua ; nous ne serions d'ailleurs pas surpris que quelques-uns des sommets escarpés de cette région sédimentaire, tels que le Sphinx par exemple fussent également calcaires.

A la bande schisteuse de la rive gauche du Diahot plus ou moins parallèle à celle de la côte Est, à laquelle elle vient d'ailleurs se souder, correspond également une ligne de roches calcaires, dominant, avec des escarpements raides et des profils caractéristiques, les mamelons schisteux. La plus remarquable de ces roches est la roche Mauprat qui s'élève à peu de distance au-dessus de l'embouchure du Diahot; elle s'aligne avec plusieurs autres roches de même caractère, dont une des plus connues est la Corne de Koumac qui domine la localité de même nom. Cet alignement calcaire se prolonge d'ailleurs sur une grande distance, d'abord sur la rive gauche de la rivière de Koumac au flanc du mont Kuamo, puis der-

rière le mont Kaala sur la rive gauche de la Iouanga ; nous avons ensuite noté la présence du calcaire en un très grand nombre de points de la côte Ouest : au-dessus de Koné, dans la haute vallée de Népoui à Oua-Té, entre Moindou et Bouloupari, à Saint-Vincent, et jusqu'à Nouméa même.

M. Heurteau n'avait pas hésité à attribuer le même âge à tous ces calcaires qu'il avait observés semblables à eux-mêmes d'un bout à l'autre de la colonie, et il en faisait un niveau de comparaison à la base des schistes feldspathiques. M. Pelatan, au contraire, sépare ces calcaires en deux groupes bien distincts : les uns, ceux du Nord de l'île, sont rangés par lui, avec les schistes argileux au milieu desquels ils apparaissent, dans l'étage supérieur du terrain primitif ou peut-être dans le silurien ; les autres, au contraire, qui s'alignent le long de la côte Ouest depuis Gomen jusqu'à l'île de Mato, seraient à la partie inférieure de l'étage triasique, apparaissant eux aussi à côté de schistes, qui tantôt sont argileux et noirs, tantôt ferrugineux et à coloration brun foncé. Comme M. Heurteau, nous avons remarqué l'uniformité de caractère que présentent les calcaires d'un bout à l'autre de l'île, qu'ils soient attribués au paléozoïque ou au trias par M. Pelatan, de même que nous avons été frappé par la régularité de leurs alignements ; ils dessinent en effet deux bandes, l'une très prolongée le long de la côte Ouest, et la seconde, plus restreinte, voisine de la côte Est, se développant depuis Kouaoua jusqu'à Hienghène, et ne constituant peut-être qu'une simple ramification de la première ; ces alignements sont d'ailleurs parallèles aux alignements géologiques généraux de la colonie. Nous avons, d'autre part, observé que la démarcation à faire dans ces calcaires pour suivre M. Pelatan conduit précisément à distinguer comme âge des affleurements

voisins comme situation géographique et se ressemblant beaucoup comme aspect ; il faudrait, en effet, séparer, d'un côté les calcaires de Houaïlou (paléozoïques) des calcaires de Kouaoua (triasiques), et, de l'autre côté, faire une coupure du même genre dans l'alignement, pourtant bien uniforme et bien net, des calcaires de la Corne de Koumac, du flanc Nord du Kaala, etc.

La même difficulté se présente d'ailleurs lorsqu'il s'agit de tracer la ligne de démarcation entre le paléozoïque et le trias pour les schistes qui encaissent ces calcaires; si la majeure partie de ceux de la région Nouméa-Bourail ont un caractère feldspathique et ferrugineux bien net, avec une division en gros bancs et une tendance à la formation de rognons, ceux qui se développent si largement dans les plaines de Poya et de Gomen (triasiques suivant M. Pelatan) en sont très différents, et se rapprochent beaucoup plus des schistes argileux que nous venons de décrire, dont ils ne se différencient guère que par l'absence à peu près complète des filons quartzeux. Nous en venons donc à nous demander si l'on n'est pas en présence d'une formation seule et unique dans l'ensemble, dans laquelle il pourrait naturellement y avoir lieu de distinguer, ici ou là, une série de périodes distinctes dans le détail, et qui aurait subi des actions métamorphiques d'un caractère différent aux deux extrémités de l'île : vers le Nord, les schistes se seraient trouvés injectés de quartz ; vers le Sud, au contraire, il s'y serait développé des cristaux de feldspath, et il s'y serait séparé des enduits ferrugineux. Dès lors, la longue bande calcaire qui se prolonge depuis l'île Mato jusqu'à l'embouchure du Diahot, avec un rameau latéral de Kouaoua à Hienghène, n'appartiendrait peut-être bien qu'à une seule formation ; des circonstances locales suffisant parfaitement à expliquer qu'ici le calcaire soit plus siliceux et plus dur, et là plus pur et à grain plus fin, tandis qu'ailleurs i

serait coloré de vert ou de rose au lieu d'être gris clair.

La rareté des fossiles et l'espacement presque fatal des observations dans un pays où l'on est loin de pouvoir accéder partout où on le souhaiterait, rendent la solution de cette question impossible, pour le moment du moins; quelques fossiles trouvés dans la partie sud-orientale de la colonie ont conduit jusqu'ici à rapporter schistes et calcaires au trias; le voisinage des schistes primitifs les a fait attribuer vers le Nord au primitif ou tout au moins au primaire; mais il n'y a là que de simples hypothèses. Les seuls fossiles décrits autrefois comme primaires sont, suivant M. Garnier, une forme ayant quelque rapport avec *Orthisina anomala* du silurien moyen ou supérieur, des genres voisins de *Leptæna*, des *Spirifer*, et des *Orthis* du groupe de l'*Orthis lynx*, provenant tous de la grauwacke de l'île Ducos, ce qui lui faisait attribuer les calcaires qui la surmontent au dévonien. M. Pelatan, au contraire, classe tous ces terrains dans le trias. Enfin M. Piroutet signale à Popidéry près de Moindou, dans les calcaires mêmes, des Foraminifères (*Fusulines* et *Nummulites pristina*) du calcaire carbonifère.

Cette dernière observation reporterait donc du trias au carbonifère les calcaires du Sud de la colonie, enlevant la seule raison que M. Pelatan ait de les séparer des calcaires du Nord, considérés par lui comme paléozoïques. Nous regardons donc comme très vraisemblable la contemporanéité de tous les calcaires de la Nouvelle-Calédonie, ou du moins de la série des massifs calcaires puissants que nous venons de mentionner (car il peut bien y avoir, comme l'indique M. Piroutet, quelques lentilles de cipolins précambriens et quelques bancs calcaires jurassiques); mais, en tous cas, nous répéterons, en terminant ce qui a trait à ces calcaires, qu'il est loin d'être établi qu'ils appartiennent les uns au primaire et les autres au secondaire.

voisins comme situation géographique et se
beaucoup comme aspect ; il faudrait, en e
d'un côté les calcaires de Houaïlou (paléoz
caires de Kouaoua (triasiques), et, de l'
une coupure du même genre dans l'a
bien uniforme et bien net, des cal
Koumac, du flanc Nord du Kaala,

La même difficulté se présent
de tracer la ligne de démarca
le trias pour les schistes qu
la majeure partie de ceux
ont un caractère feldspa
avec une division en
formation de rognon
ment dans les pla
suivant M. Pela
prochent beau
venons de dé ... utet.
par l'absen ... stituent cette
Nous en ... s : dans toute la pa
présenc ... des schistes feldspathi
sembl ... disposés en gros bancs, se dé
lieu ..., et qui ont un aspect très caractér
d ... ouve depuis Nouméa jusqu'à Moindou ;
Nord, ils font place à des schistes dont le ca
varier d'une façon assez progressive, de
affleurements tout au moins, moins durs et pl
aux agents atmosphériques, et produisant pa
tion une sorte de terre noire très argileuse q

(*) HEURTEAU, *loc. cit.*, p. 409.

(**) PIROUTET, *loc. cit.*, p. 163.

(***) DESLONGCHAMPS, *Documents sur la géologie de la donie* (*Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, V 1863), et FISCHER, *Notes sur les roches fossilifères de l'arc nien* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 2 p. 457-458, 1866-1867).

D. — Assises triasiques.

A la puissante formation de schistes généralement argileux que nous venons de décrire succède, ou plutôt s'associe, vers le Sud, une autre formation schisteuse, très puissante également, qui, elle, se montre fossilifère; son âge a pu être fixé approximativement parce qu'on a rencontré dans certaines des couches qui y sont intercalées quelques fossiles : *Mytilus problematicus* et *Spririgera Wreyi* du trias inférieur, qui n'ont d'ailleurs été trouvés à notre connaissance qu'à Moindou et Teremba et à l'île Ducos par M. Heurteau (*), et dont M. Piroutet conteste la détermination (**), et *Pseudomonotis Richmondiana* du trias supérieur, signalé d'abord avec quelques autres fossiles contemporains par M. Deslongchamps à l'île Hugon (***), retrouvé à Moindou par M. Heurteau, et observé également en plusieurs points par M. Piroutet.

Quant aux roches qui constituent cette formation, ce sont surtout des schistes : dans toute la partie sud-orientale de l'île, ce sont des schistes feldspathiques à enduits ferrugineux, disposés en gros bancs, se débitant souvent en boules, et qui ont un aspect très caractéristique; on les retrouve depuis Nouméa jusqu'à Moindou; mais, plus au Nord, ils font place à des schistes dont le caractère parait varier d'une façon assez progressive, devenant, aux affleurements tout au moins, moins durs et plus accessibles aux agents atmosphériques, et produisant par leur altération une sorte de terre noire très argileuse qui constitue

(*) Heurteau, *loc. cit.*, p. 409.
(**) Piroutet, *loc. cit.*, p. 163.
(***) Deslongchamps, *Documents sur la géologie de la Nouvelle-Calédonie* (*Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, VIII, p. 332-378, 1863), et Fischer, *Notes sur les roches fossilifères de l'archipel calédonien* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, XXIV, p. 457-458, 1866-1867).

en particulier les bourbiers, si redoutables, en temps de pluie, de la plaine de Poya.

M. Pelatan n'hésite pas à ranger encore ces schistes-là dans l'étage inférieur du trias, parce qu'ils sont associés, tout comme ceux des environs de Nouméa, à des calcaires ainsi qu'à des mélaphyres; mais ici encore, à notre avis, la démarcation à faire entre les schistes argileux plus ou moins micacés, attribués au primitif ou au primaire, et ces schistes argileux du Nord de la côte Ouest, nous paraît très arbitraire : la seule circonstance qui puisse faire, comme l'a fait M. Pelatan, étendre la limite des terrains triasiques jusque vers le Nord de l'île, c'est la présence, jusque dans ces régions, de terrains à charbon classés dans le crétacé ; dès lors on est tenté de rapporter au trias les schistes qui leur sont sous-jacents pour les assimiler aux schistes sous-jacents au terrain houiller des bassins de Nouméa et de Moindou. Mais, comme les terrains à charbon apparaissent jusqu'à Koumac, nous ne voyons aucune raison de ne pas classer également dans le trias les schistes noirs qu'on rencontre à Koumac même, et, par suite, de ne pas ranger aussi dans le trias, ou dans un étage très voisin, les calcaires de la Corne de Koumac ; rien n'empêcherait plus alors d'admettre un prolongement des schistes triasiques jusqu'au Diahot ou même jusqu'à la presqu'île d'Arama.

Sans parler des roches éruptives, sur lesquelles nous ajouterons quelques mots ci-après, cette série schisteuse, rapportée au trias, s'associe à d'autres formations. Ce sont d'abord les calcaires : ils apparaissent tantôt sous la forme des calcaires massifs en bancs plus ou moins puissants que nous avons décrits ci-dessus (Koumac, massif du Kaala, Koné, Népoui, Bouloupari, Nouméa), parfois lithographiques (Bourail, île Hugon, île Mato), et tantôt sous forme de calcaires en plaquettes ou même de

schistes calcareux, comme entre Teremba et Moindou dans les îles Hugon et Ducos (ce sont eux qui sont fo lifères). Les calcaires massifs ont, comme nous l'avons déjà, été attribués au trias même par M. Pelatan, ta que M. Piroutet les rapporte au calcaire carbonifère ; q aux autres calcaires, en bancs beaucoup plus restre comme puissance et comme étendue, ils paraissent tercaler comme âge au milieu des formations schisteu

Outre la série nettement schisteuse, qui est de b coup la plus puissante parmi les formations triasiques a observé en plusieurs points des couches à *Monotis*, c tituées surtout par des alternances des schistes argi un peu calcaires et plus ou moins jaunes, et de schi ferrugineux bruns; ces bancs sont parfois très fossilif et ce sont eux, parmi les formations de la Nouvelle-C donie, dont l'âge a pu être établi dès longtemps ave plus de certitude : ils avaient été particulièrement observés à l'île Hugon par M. Deslongchamps et au sinage de Moindou par M. Heurteau : le fossile q domine est, suivant ces auteurs, le *Monotis Richmondia* il est associé à l'*Halobia Lomelli* et à quelques écl tillons de *Spririfer*, *de Spririgera* (*Spririgera P chesi*), d'*Astarte*, et de *Turbo*. M. Piroutet (*) a obs ces mêmes bancs en plusieurs points, principalement forme d'argiles dures ; mais, tandis que ses devanc les plaçaient au sommet de la puissante série schist que nous venons de mentionner, il en fait la base de c série, et il signale au-dessus sept zones, à faciès a variables, qu'il caractérise par des fossiles du trias s rieur, du lias, et peut-être même du bajocien.

Enfin viendraient, suivant M. Pelatan, les argiles riolées gypsifères. M. Piroutet les regarde au contr comme des dépôts relevés récents, et nous nous rang

(*) Piroutet, *loc. cit.*, p. 163 et 164.

de préférence à cette dernière opinion, que nos observations paraissent confirmer. M. Pelatan considère les assises triasiques comme encore couronnées par de petits bancs généralement schisteux, mais souvent marneux, se rapprochant parfois du calcaire, tels que les calcaires en petites plaquettes du cap Goulvain ; ces bancs sont sans doute également récents.

Comme le montre un coup d'œil jeté sur la carte géologique de M. Pelatan, cet ensemble triasique et liasique (?) comprendrait la plus grande partie des terrains sédimentaires de la colonie ; mais son âge est somme toute mal défini, puisque seul est bien connu celui des couches à *Monotis*, formation dont la puissance et surtout l'extension sont en somme restreintes. Quant à l'âge des schistes, il est déjà établi avec moins de certitude et de précision, et surtout il ne l'est que pour quelques gisements auxquels on assimile non seulement des gisements voisins et de même faciès, mais encore des gisements éloignés dont le faciès en diffère très notablement.

Les roches éruptives sont abondantes dans toute cette formation. Nombreux sont les massifs de roches basiques qui apparaissent, accompagnés de tufs ou de brèches, tout le long de la côte Ouest, non seulement à Gomen, à l'embouchure de la Nessadiou et au Nord de Moindou, comme le signale M. Pelatan, mais encore, et d'une façon particulièrement abondante, parmi les mamelons qui se développent entre Poya et Bourail, ainsi qu'entre Moindou et Bouloupari. Les porphyres, orthophyres, et mélaphyres, accompagnés de brèches, ne sont guère moins abondants ; mais ils paraissent être plus particulièrement associés aux roches crétacées.

A ces formations triasiques, ou plutôt aux roches éruptives qui les traversent, se rapportent quelques gisements de cuivre, de mercure, et même d'or.

Il y a en outre à noter, surtout dans le Nord, la pré-

sence auprès des schistes (aussi bien de ceux classés comme anciens que de ceux attribués au trias) de formations magnésiennes assez spéciales, constituées de rognons de giobertite ; nous n'avons d'ailleurs observé ces formations qu'au voisinage de massifs serpentineux, et elles nous paraissent très évidemment devoir en être considérées comme des produits secondaires de décomposition ; nous en ferons une mention plus complète dans la suite. Enfin c'est dans cette même zone de contact des schistes noirs et des serpentines qu'ont été trouvées, près de Koumac, des traces d'huile minérale.

E. — Assises jurassiques et crétacées et dépôts récents.

Aux couches triasiques succèdent quelques assises jurassiques, aussi peu importantes au point de vue de leur extension qu'au point de vue des gîtes qu'elles renferment; elles ne présentent guère d'intérêt qu'au point de vue de la succession des terrains des différents âges, et à celui du classement relatif de la grande formation schisteuse et de la formation à charbon. Ces assises ne comprennent que de petits bancs de schistes, les uns ferrugineux et brunâtres, les autres siliceux et verdâtres ; les premiers contiennent, suivant M. Munier-Chalmas (*) et M. Pelatan, un assez grand nombre de fossiles, parmi lesquels on a pu déterminer *Ostrea sublamellosa*, un *Turbo* et une *Posidonia* ressemblant à *Posidonia Bronni*, ainsi que *Cardium Caledonicum* et *Pellatia Garnieri*. Les schistes siliceux sont également fossilifères et renferment *Nucula Hammeri*, des débris de belemnites et une ammonite voisine du *Macrocephalites macrocephalus*, ce qui

(*) *In* Garnier, *loc. cit.*, p. 45.

avait fait rapporter autrefois ces schistes à l'infralias. M. Piroutet, qui y a trouvé un *Cardium*, une *Littorina*, une *Avicella*, puis une *Nucula* et un *Nautilus*, les classe au contraire dans le jurassique tout à fait supérieur ou l'infracrétacé; il y signale déjà quelques assises charbonneuses.

Enfin viennent les assises crétacées, qui sont celles qui contiennent des couches de houille; nous reviendrons longuement dans ce qui suit sur la description de ces asssises, et nous serons amené à discuter en détail la question de leur âge; nous nous contenterons donc d'indiquer ici brièvement que les couches crétacées comprennent souvent à la base des grès grossiers passant même aux poudingues, puis une formation importante de grès arénacés feldspathiques aux couleurs claires dans lesquels s'intercalent des lits schisteux noirs et des couches de charbon; à ces roches sont parfois associées des argiles violacées. Le charbon est souvent assez impur, et sa teneur en matières volatiles est très variable depuis des houilles très gazeuses jusqu'à des anthracites; cette variabilité est due moins, sans doute, à la diversité de la nature primitive des couches qu'aux actions métamorphiques qu'elles ont ultérieurement subies. Ces diverses couches crétacées se présentent en lambeaux formant des cuvettes, plus ou moins bien dessinées et plus ou moins continues, au milieu des sédiments triasiques et jurassiques; plusieurs de ces cuvettes sont très restreintes (*); ce sont celles de Koumac, de Voh, de Pouembout, de Muéo, etc.; trois d'entre elles, au contraire, s'allongent, avec une forme très irrégulière d'ailleurs, sur plusieurs dizaines de kilomètres : ce sont les bassins de Poya, de Moindou et de Nouméa. Aux assises crétacées sont encore associées des roches éruptives : d'une part,

(*) Voir la carte n° 2 (Pl. XI) ci-jointe.

Notre-Dame, qui forment deux îles à l'entrée de la baie, puis elle disparaît sous les eaux. Vers le Sud, la barrière calcaire longe le rivage à peu de distance sur une dizaine de kilomètres, puis elle paraît s'enfoncer plus avant dans l'intérieur des terres, dissimulée aux yeux de celui qui longe la côte par les massifs schisteux et éruptifs dont les contreforts s'avancent jusqu'au rivage. Mais, en remontant le cours de la Tiwaka, M. Garnier a retrouvé, à quelque 20 kilomètres dans l'intérieur, des calcaires appartenant à la même formation, bien qu'ils présentent des colorations roses et vertes, notablement différentes de celles que nous avons observées auprès de la côte ; ils constituent dans le relief du terrain un ressaut donnant lieu, sur le cours de la rivière, à une cascade d'une vingtaine de mètres de hauteur. Le prolongement vers le Sud-Est de cette ligne de calcaires paraît encore être marqué par ceux que M. Pelatan signale à Houaïlou et par ceux que nous avons observés nous-même dans le fond de la vallée de Kouaoua ; nous ne serions d'ailleurs pas surpris que quelques-uns des sommets escarpés de cette région sédimentaire, tels que le Sphinx par exemple, fussent également calcaires.

A la bande schisteuse de la rive gauche du Diahot, plus ou moins parallèle à celle de la côte Est, à laquelle elle vient d'ailleurs se souder, correspond également une ligne de roches calcaires, dominant, avec des escarpements raides et des profils caractéristiques, les mamelons schisteux. La plus remarquable de ces roches est la roche Mauprat qui s'élève à peu de distance au-dessus de l'embouchure du Diahot ; elle s'aligne avec plusieurs autres roches de même caractère, dont une des plus connues est la Corne de Koumac qui domine la localité de même nom. Cet alignement calcaire se prolonge d'ailleurs sur une grande distance, d'abord sur la rive gauche de la rivière de Koumac au flanc du mont Kuamo, puis der-

rière le mont Kaala sur la rive gauche de la Iouanga ; nous avons ensuite noté la présence du calcaire en un très grand nombre de points de la côte Ouest : au-dessus de Koné, dans la haute vallée de Népoui à Oua-Té, entre Moindou et Bouloupari, à Saint-Vincent, et jusqu'à Nouméa même.

M. Heurteau n'avait pas hésité à attribuer le même âge à tous ces calcaires qu'il avait observés semblables à eux-mêmes d'un bout à l'autre de la colonie, et il en faisait un niveau de comparaison à la base des schistes feldspathiques. M. Pelatan, au contraire, sépare ces calcaires en deux groupes bien distincts : les uns, ceux du Nord de l'île, sont rangés par lui, avec les schistes argileux au milieu desquels ils apparaissent, dans l'étage supérieur du terrain primitif ou peut-être dans le silurien; les autres, au contraire, qui s'alignent le long de la côte Ouest depuis Gomen jusqu'à l'île de Mato, seraient à la partie inférieure de l'étage triasique, apparaissant eux aussi à côté de schistes, qui tantôt sont argileux et noirs, tantôt ferrugineux et à coloration brun foncé. Comme M. Heurteau, nous avons remarqué l'uniformité de caractère que présentent les calcaires d'un bout à l'autre de l'île, qu'ils soient attribués au paléozoïque ou au trias par M. Pelatan, de même que nous avons été frappé par la régularité de leurs alignements ; ils dessinent en effet deux bandes, l'une très prolongée le long de la côte Ouest, et la seconde, plus restreinte, voisine de la côte Est, se développant depuis Kouaoua jusqu'à Hienghène, et ne constituant peut-être qu'une simple ramification de la première ; ces alignements sont d'ailleurs parallèles aux alignements géologiques généraux de la colonie. Nous avons, d'autre part, observé que la démarcation à faire dans ces calcaires pour suivre M. Pelatan conduit précisément à distinguer comme âge des affleurements

voisins comme situation géographique et se ressemblant beaucoup comme aspect ; il faudrait, en effet, séparer, d'un côté les calcaires de Houaïlou (paléozoïques) des calcaires de Kouaoua (triasiques), et, de l'autre côté, faire une coupure du même genre dans l'alignement, pourtant bien uniforme et bien net, des calcaires de la Corne de Koumac, du flanc Nord du Kaala, etc.

La même difficulté se présente d'ailleurs lorsqu'il s'agit de tracer la ligne de démarcation entre le paléozoïque et le trias pour les schistes qui encaissent ces calcaires ; si la majeure partie de ceux de la région Nouméa-Bourail ont un caractère feldspathique et ferrugineux bien net, avec une division en gros bancs et une tendance à la formation de rognons, ceux qui se développent si largement dans les plaines de Poya et de Gomen (triasiques suivant M. Pelatan) en sont très différents, et se rapprochent beaucoup plus des schistes argileux que nous venons de décrire, dont ils ne se différencient guère que par l'absence à peu près complète des filons quartzeux. Nous en venons donc à nous demander si l'on n'est pas en présence d'une formation seule et unique dans l'ensemble, dans laquelle il pourrait naturellement y avoir lieu de distinguer, ici ou là, une série de périodes distinctes dans le détail, et qui aurait subi des actions métamorphiques d'un caractère différent aux deux extrémités de l'île : vers le Nord, les schistes se seraient trouvés injectés de quartz ; vers le Sud, au contraire, il s'y serait développé des cristaux de feldspath, et il s'y serait séparé des enduits ferrugineux. Dès lors, la longue bande calcaire qui se prolonge depuis l'île Mato jusqu'à l'embouchure du Diahot, avec un rameau latéral de Kouaoua à Hienghène, n'appartiendrait peut-être bien qu'à une seule formation ; des circonstances locales suffisant parfaitement à expliquer qu'ici le calcaire soit plus siliceux et plus dur, et là plus pur et à grain plus fin, tandis qu'ailleurs il

serait coloré de vert ou de rose au lieu d'être gris clair.

La rareté des fossiles et l'espacement presque fatal des observations dans un pays où l'on est loin de pouvoir accéder partout où on le souhaiterait, rendent la solution de cette question impossible, pour le moment du moins; quelques fossiles trouvés dans la partie sud-orientale de la colonie ont conduit jusqu'ici à rapporter schistes et calcaires au trias; le voisinage des schistes primitifs les a fait attribuer vers le Nord au primitif ou tout au moins au primaire ; mais il n'y a là que de simples hypothèses. Les seuls fossiles décrits autrefois comme primaires sont, suivant M. Garnier, une forme ayant quelque rapport avec *Orthisina anomala* du silurien moyen ou supérieur, des genres voisins de *Leptæna*, des *Spirifer*, et des *Orthis* du groupe de l'*Orthis lynx*, provenant tous de la grauwacke de l'île Ducos, ce qui lui faisait attribuer les calcaires qui la surmontent au dévonien. M. Pelatan, au contraire, classe tous ces terrains dans le trias. Enfin M. Piroutet signale à Popidéry près de Moindou, dans les calcaires mêmes, des Foraminifères (*Fusulines* et *Nummulites pristina*) du calcaire carbonifère.

Cette dernière observation reporterait donc du trias au carbonifère les calcaires du Sud de la colonie, enlevant la seule raison que M. Pelatan ait de les séparer des calcaires du Nord, considérés par lui comme paléozoïques. Nous regardons donc comme très vraisemblable la contemporanéité de tous les calcaires de la Nouvelle-Calédonie, ou du moins de la série des massifs calcaires puissants que nous venons de mentionner (car il peut bien y avoir, comme l'indique M. Piroutet, quelques lentilles de cipolins précambriens et quelques bancs calcaires jurassiques) ; mais, en tous cas, nous répéterons, en terminant ce qui a trait à ces calcaires, qu'il est loin d'être établi qu'ils appartiennent les uns au primaire et les autres au secondaire.

D. — Assises triasiques.

A la puissante formation de schistes généralement arg leux que nous venons de décrire succède, ou plutôt s'associ vers le Sud, une autre formation schisteuse, très puissant également, qui, elle, se montre fossilifère; son âge a p être fixé approximativement parce qu'on a rencontré dai certaines des couches qui y sont intercalées quelqu fossiles : *Mytilus problematicus* et *Spririgera Wre* du trias inférieur, qui n'ont d'ailleurs été trouvés notre connaissance qu'à Moindou et Teremba et à l'î Ducos par M. Heurteau (*), et dont M. Piroutet contes la détermination (**), et *Pseudomonotis Richmondiana* trias supérieur, signalé d'abord avec quelques autres fossil contemporains par M. Deslongchamps à l'île Hugon (*** retrouvé à Moindou par M. Heurteau, et observé égal ment en plusieurs points par M. Piroutet.

Quant aux roches qui constituent cette formation, sont surtout des schistes : dans toute la partie sud-orie tale de l'île, ce sont des schistes feldspathiques à endui ferrugineux, disposés en gros bancs, se débitant souve en boules, et qui ont un aspect très caractéristique ; on l retrouve depuis Nouméa jusqu'à Moindou ; mais, plus Nord, ils font place à des schistes dont le caractère par varier d'une façon assez progressive, devenant, a affleurements tout au moins, moins durs et plus accessibl aux agents atmosphériques, et produisant par leur altér tion une sorte de terre noire très argileuse qui constit

(*) Heurteau, *loc. cit.*, p. 409.
(**) Piroutet, *loc. cit.*, p. 163.
(***) Deslongchamps, *Documents sur la géologie de la Nouvelle-Ca donie* (*Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, VIII, p. 332-3 1863), et Fischer, *Notes sur les roches fossilifères de l'archipel calé nien* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, XXI p. 457-458, 1866-1867).

en particulier les bourbiers, si redoutables, en temps de pluie, de la plaine de Poya.

M. Pelatan n'hésite pas à ranger encore ces schistes-là dans l'étage inférieur du trias, parce qu'ils sont associés, tout comme ceux des environs de Nouméa, à des calcaires ainsi qu'à des mélaphyres; mais ici encore, à notre avis, la démarcation à faire entre les schistes argileux plus ou moins micacés, attribués au primitif ou au primaire, et ces schistes argileux du Nord de la côte Ouest, nous paraît très arbitraire : la seule circonstance qui puisse faire, comme l'a fait M. Pelatan, étendre la limite des terrains triasiques jusque vers le Nord de l'île, c'est la présence, jusque dans ces régions, de terrains à charbon classés dans le crétacé; dès lors on est tenté de rapporter au trias les schistes qui leur sont sous-jacents pour les assimiler aux schistes sous-jacents au terrain houiller des bassins de Nouméa et de Moindou. Mais, comme les terrains à charbon apparaissent jusqu'à Koumac, nous ne voyons aucune raison de ne pas classer également dans le trias les schistes noirs qu'on rencontre à Koumac même, et, par suite, de ne pas ranger aussi dans le trias, ou dans un étage très voisin, les calcaires de la Corne de Koumac; rien n'empêcherait plus alors d'admettre un prolongement des schistes triasiques jusqu'au Diahot ou même jusqu'à la presqu'île d'Arama.

Sans parler des roches éruptives, sur lesquelles nous ajouterons quelques mots ci-après, cette série schisteuse, rapportée au trias, s'associe à d'autres formations. Ce sont d'abord les calcaires : ils apparaissent tantôt sous la forme des calcaires massifs en bancs plus ou moins puissants que nous avons décrits ci-dessus (Koumac, massif du Kaala, Koné, Népoui, Bouloupari, Nouméa), parfois lithographiques (Bourail, île Hugon, île Mato), et tantôt sous forme de calcaires en plaquettes ou même de

schistes calcareux, comme entre Teremba et Moindou ou dans les îles Hugon et Ducos (ce sont eux qui sont fossilifères). Les calcaires massifs ont, comme nous l'avons dit déjà, été attribués au trias même par M. Pelatan, tandis que M. Piroutet les rapporte au calcaire carbonifère ; quant aux autres calcaires, en bancs beaucoup plus restreints comme puissance et comme étendue, ils paraissent s'intercaler comme âge au milieu des formations schisteuses.

Outre la série nettement schisteuse, qui est de beaucoup la plus puissante parmi les formations triasiques, on a observé en plusieurs points des couches à *Monotis*, constituées surtout par des alternances des schistes argileux un peu calcaires et plus ou moins jaunes, et de schistes ferrugineux bruns ; ces bancs sont parfois très fossilifères et ce sont eux, parmi les formations de la Nouvelle-Calédonie, dont l'âge a pu être établi dès longtemps avec le plus de certitude : ils avaient été particulièrement bien observés à l'île Hugon par M. Deslongchamps et au voisinage de Moindou par M. Heurteau : le fossile qui y domine est, suivant ces auteurs, le *Monotis Richmondiana* il est associé à l'*Halobia Lomelli* et à quelques échantillons de *Spririfer*, *de Spririgera* (*Spririgera Planchesi*), d'*Astarte*, et de *Turbo*. M. Piroutet (*) a observé ces mêmes bancs en plusieurs points, principalement sous forme d'argiles dures ; mais, tandis que ses devanciers les plaçaient au sommet de la puissante série schisteuse que nous venons de mentionner, il en fait la base de cette série, et il signale au-dessus sept zones, à faciès assez variables, qu'il caractérise par des fossiles du trias supérieur, du lias, et peut-être même du bajocien.

Enfin viendraient, suivant M. Pelatan, les argiles bariolées gypsifères. M. Piroutet les regarde au contraire comme des dépôts relevés récents, et nous nous rangeons

(*) Piroutet, *loc. cit.*, p. 163 et 164.

de préférence à cette dernière opinion, que nos observations paraissent confirmer. M. Pelatan considère les assises triasiques comme encore couronnées par de petits bancs généralement schisteux, mais souvent marneux, se rapprochant parfois du calcaire, tels que les calcaires en petites plaquettes du cap Goulvain ; ces bancs sont sans doute également récents.

Comme le montre un coup d'œil jeté sur la carte géologique de M. Pelatan, cet ensemble triasique et liasique (?) comprendrait la plus grande partie des terrains sédimentaires de la colonie ; mais son âge est somme toute mal défini, puisque seul est bien connu celui des couches à *Monotis*, formation dont la puissance et surtout l'extension sont en somme restreintes. Quant à l'âge des schistes, il est déjà établi avec moins de certitude et de précision, et surtout il ne l'est que pour quelques gisements auxquels on assimile non seulement des gisements voisins et de même faciès, mais encore des gisements éloignés dont le faciès en diffère très notablement.

Les roches éruptives sont abondantes dans toute cette formation. Nombreux sont les massifs de roches basiques qui apparaissent, accompagnés de tufs ou de brèches, tout le long de la côte Ouest, non seulement à Gomen, à l'embouchure de la Nessadiou et au Nord de Moindou, comme le signale M. Pelatan, mais encore, et d'une façon particulièrement abondante, parmi les mamelons qui se développent entre Poya et Bourail, ainsi qu'entre Moindou et Bouloupari. Les porphyres, orthophyres, et mélaphyres, accompagnés de brèches, ne sont guère moins abondants ; mais ils paraissent être plus particulièrement associés aux roches crétacées.

A ces formations triasiques, ou plutôt aux roches éruptives qui les traversent, se rapportent quelques gisements de cuivre, de mercure, et même d'or.

Il y a en outre à noter, surtout dans le Nord, la pré-

sence auprès des schistes (aussi bien de ceux classés comme anciens que de ceux attribués au trias) de formations magnésiennes assez spéciales, constituées de rognons de giobertite ; nous n'avons d'ailleurs observé ces formations qu'au voisinage de massifs serpentineux, et elles nous paraissent très évidemment devoir en être considérées comme des produits secondaires de décomposition ; nous en ferons une mention plus complète dans la suite. Enfin c'est dans cette même zone de contact des schistes noirs et des serpentines qu'ont été trouvées, près de Koumac, des traces d'huile minérale.

E. — ASSISES JURASSIQUES ET CRÉTACÉES ET DÉPÔTS RÉCENTS.

Aux couches triasiques succèdent quelques assises jurassiques, aussi peu importantes au point de vue de leur extension qu'au point de vue des gîtes qu'elles renferment ; elles ne présentent guère d'intérêt qu'au point de vue de la succession des terrains des différents âges, et à celui du classement relatif de la grande formation schisteuse et de la formation à charbon. Ces assises ne comprennent que de petits bancs de schistes, les uns ferrugineux et brunâtres, les autres siliceux et verdâtres ; les premiers contiennent, suivant M. Munier-Chalmas (*) et M. Pelatan, un assez grand nombre de fossiles, parmi lesquels on a pu déterminer *Ostrea sublamellosa*, un *Turbo* et une *Posidonia* ressemblant à *Posidonia Bronni*, ainsi que *Cardium Caledonicum* et *Pellatia Garnieri*. Les schistes siliceux sont également fossilifères et renferment *Nucula Hammeri*, des débris de belemnites et une ammonite voisine du *Macrocephalites macrocephalus*, ce qui

(*) *In* GARNIER, *loc. cit.*, p. 45.

avait fait rapporter autrefois ces schistes à l'infralias. M. Piroutet, qui y a trouvé un *Cardium*, une *Littorina*, une *Aucella*, puis une *Nucula* et un *Nautilus*, les classe au contraire dans le jurassique tout à fait supérieur ou l'infracrétacé; il y signale déjà quelques assises charbonneuses.

Enfin viennent les assises crétacées, qui sont celles qui contiennent des couches de houille; nous reviendrons longuement dans ce qui suit sur la description de ces assises, et nous serons amené à discuter en détail la question de leur âge; nous nous contenterons donc d'indiquer ici brièvement que les couches crétacées comprennent souvent à la base des grès grossiers passant même aux poudingues, puis une formation importante de grès arénacés feldspathiques aux couleurs claires dans lesquels s'intercalent des lits schisteux noirs et des couches de charbon; à ces roches sont parfois associées des argiles violacées. Le charbon est souvent assez impur, et sa teneur en matières volatiles est très variable depuis des houilles très gazeuses jusqu'à des anthracites; cette variabilité est due moins, sans doute, à la diversité de la nature primitive des couches qu'aux actions métamorphiques qu'elles ont ultérieurement subies. Ces diverses couches crétacées se présentent en lambeaux formant des cuvettes, plus ou moins bien dessinées et plus ou moins continues, au milieu des sédiments triasiques et jurassiques; plusieurs de ces cuvettes sont très restreintes (*); ce sont celles de Koumac, de Voh, de Pouembout, de Muéo, etc.; trois d'entre elles, au contraire, s'allongent, avec une forme très irrégulière d'ailleurs, sur plusieurs dizaines de kilomètres : ce sont les bassins de Poya, de Moindou et de Nouméa. Aux assises crétacées sont encore associées des roches éruptives : d'une part,

(*) Voir la carte n° 2 (Pl. XI) ci-jointe.

des mélaphyres, avec tufs mélaphyriques, en coulées puissantes, paraissant immédiatement antérieures aux formations houillères; ensuite, des filons et des dykes recoupant ces mêmes formations et se classant dans les orthophyres et les porphyres.

Les sédiments postérieurs au crétacé sont rares et peu variés; on rencontre quelques alluvions quaternaires dans les basses vallées des grandes rivières de la colonie; ce ne sont généralement que des cailloutis plus ou moins empâtés d'argile. D'autre part, nous avons à signaler, avec M. Piroutet, des dépôts de rivages soulevés, tant sur la côte Est que sur la côte Ouest, dépôts qui paraissent tout à fait récents, sinon contemporains. M. l'Ingénieur en chef des Mines Douvillé, qui a bien voulu examiner quelques fossiles que nous avons recueillis dans les dépôts de cette nature de la pointe Chaleix près de Nouméa, y a reconnu une Orbitolite (*Marginopora vertebralis*) et l'*Arca holoceria* Rive, toutes deux espèces existant encore actuellement. Parmi ces formations, les plus intéressantes au point de vue pratique sont les dépôts à caractère lagunaire, qui se rencontrent en de nombreux points de la côte Ouest depuis la pointe Chaleix jusqu'à Gomen, et qui sont particulièrement développés dans la presqu'île de Uitoé et auprès du cap Goulvain; ils contiennent des argiles bariolées avec cristaux de gypse souvent très abondants; ce sont ces dépôts que M. Pelatan avait considérés comme triasiques.

On trouve enfin tout autour de la colonie des constructions coralliennes, dont les unes, d'âge quaternaire, appartiennent encore aux formations géologiques, tandis que les autres, constituées par des colonies encore vivantes, relèvent plutôt du règne animal que du règne minéral. Les unes et les autres peuvent avoir un certain intérêt comme gisements de calcaire : les constructions coral-

liennes anciennes, qu'on ne rencontre qu'aux îles Loyalty, autour de l'île des Pins, et sur une longueur assez restreinte de l'extrémité méridionale des côtes de l'île, constituent d'assez puissants bancs de carbonate de chaux ; les coraux vivants donnent lieu à l'apport constant sur les plages d'abondants débris calcaires.

CHAPITRE III.

LES ROCHES ÉRUPTIVES; LES SERPENTINES.

A. — Les différentes séries éruptives de la Nouvelle-Calédonie.

Nous avons déjà eu l'occasion, en décrivant les différentes assises géologiques de la Nouvelle-Calédonie, d'y mentionner fréquemment la présence de roches éruptives variées, et en outre de faire allusion à celle qui est de beaucoup la plus importante parmi ces venues éruptives, celle des péridotites qui se montrent aujourd'hui plus ou moins serpentinisées. C'est dire que le géologue et le mineur ne peuvent pas faire un pas dans la colonie sans rencontrer de telles roches, et la connaissance de celles-ci présente pour eux un intérêt d'autant plus capital que, si les diverses formations éruptives anciennes de la colonie paraissent déjà, comme dans beaucoup de pays, présenter des relations plus ou moins directes avec les venues métallifères, cuivre, or, plomb argentifère, etc., la liaison étroite des gisements de nickel, de cobalt, de chrome, et de fer avec la formation serpentineuse est d'une évidence absolue.

L'ensemble de ces roches constitue une série très variée dont le classement rationnel ne laisse pas d'être assez malaisé avec le petit nombre d'observations dont nous disposons personnellement, et avec la difficulté

qu'il y a pour nous à utiliser celles de nos devanciers, dont la terminologie était quelque peu différente de celle qui est en usage actuellement et était surtout assez mal assurée, appuyée qu'elle était sur le seul examen macroscopique des roches.

M. Garnier signale, en dehors des roches éruptives magnésiennes, c'est-à-dire de celles qui appartiennent à la grande formation serpentineuse, des mélaphyres associés aux couches triasiques et des porphyres qui apparaissent dans la formation à charbon. M. Heurteau relève également, à côté des serpentines, la présence de mélaphyres avec tufs et brèches mélaphyriques dans le trias, et de porphyres dans le houiller ; il ne fait pas mention de roches dioritiques.

M. Pelatan fait une énumération plus étendue de la série éruptive calédonienne et la divise en cinq groupes : les roches vertes anciennes, les roches dioritiques, les roches mélaphyriques, les roches porphyriques et les roches serpentineuses. Nous adopterons cette classification, qui paraît assez bien séparer les roches de types très variés que l'on rencontre en différents points de la colonie. Nous ne sommes cependant pas certain qu'elle suive de très près « l'ordre chronologique probable des éruptions qui les ont amenées au jour », comme l'indiquait M. Pelatan (*).

Dans les micaschistes, nous n'avons pas rencontré de roches éruptives paraissant avoir spécialement affecté ceux-ci ; nous y avons, en effet, principalement relevé comme roches exceptionnelles : les roches à glaucophane, qui sont à nos yeux pour la plupart, sinon toutes, d'origine métamorphique [M. Lacroix (**) signale cependant une roche à glaucophane de la Nouvelle-Calédonie qu'il

(*) *Loc. cit.*, p. 27.

(**) Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, p. 708.

regarde comme produite par la transformation totale d'un gabbro], les talcschistes, qui sont également à nos yeux d'origine métamorphique, et peut-être quelques lambeaux de roches serpentineuses, que nous croyons devoir rapporter à la grande formation récente des péridotites. D'autre part, comme nous l'avons dit, nous ne savons pas faire de distinction précise entre les schistes dits primaires du Nord et les schistes triasiques qui se rencontrent plus au Sud, et pour cette raison nous ne saurions séparer d'une façon certaine, au point de vue de leur âge, qui nous est totalement inconnu, les roches vertes que l'on rencontre soit au voisinage des mines de cuivre et de plomb argentifère du Nord, soit dans la plaine de Poya, dans la vallée de la Négropo, etc...

Nous nous bornerons donc à distinguer d'abord, mais sans lui attribuer d'âge et sans pouvoir fixer sa véritable extension, une première série de roches éruptives, vraisemblablement la plus ancienne, constituée par des roches très basiques, de structure ophitique, à feldspaths et silicates magnésiens ; ces roches ont subi une altération très avancée, qui porte surtout sur les éléments verts presque complètement transformés en chlorite, ce qui rend leur diagnostic incertain ; les feldspaths, le plus souvent voisins de l'andésine, sont mieux conservés et à peu près déterminables. Nous avons spécialement rencontré les roches de ce groupe dans la région du Diahot : auprès des mines de cuivre Pilou et Ao, nous avons recueilli des échantillons qui constituent des types d'altération d'une diabase ophitique ; les roches vertes exceptionnellement altérées qui affleurent à côté du filon de plomb argentifère de la mine Mérétrice paraissent correspondre à des hypérites.

Plus vers le Sud, se montrent dans les schistes argileux noirs de nombreuses têtes de roches vertes moins altérées ; on les retrouve aussi bien sur la côte Ouest, où elles cons-

tituent en particulier la plupart d'entre les mamelons qui accidentent la plaine qui s'étend de Poya au cap Goulvain, et où elles apparaissent auprès du Moindou et de La Foa, dans la plaine de Saint-Vincent, et même près de Nouméa, que sur la côte Est dans la vallée de Faja au Sud de Kouaoua, dans la vallée de la Négropo au Sud de Canala, etc. Elles sont accompagnées de tufs et de brèches et présentent en somme des aspects assez variés. Quelques échantillons de ces roches, examinés au microscope, les ont montrées composées d'une pâte à grain fin de feldspaths basiques et de pyroxènes clinorhombiques, et constituant des ophites typiques. Elles se rencontrent souvent, avec les tufs et les brèches qui les accompagnent, immédiatement au-dessous des sédiments crétacés qui renferment la houille, et elles ont généralement été décrites sous le nom de mélaphyres par nos devanciers.

Ces formations paraissent, comme les précédentes, présenter un assez grand intérêt au point de vue des richesses minérales ; tandis qu'aux premières sont intimement associés les gîtes minéraux du Nord de l'île, les métaux divers que nous aurons à signaler n'apparaissent guère, dans le centre de la colonie, qu'au voisinage de ces dernières roches : tel est le cas du gîte de cuivre de la Négropo, des traces de cinabre de la vallée de Faja, du gisement d'or de la mine Queyras, des traces d'or (4 grammes à la tonne) signalées dans les mélaphyres du col de Tongoué, etc.

Les sédiments houillers eux-mêmes sont recoupés par un grand nombre de pointements porphyriques, dont la venue au jour est certainement postérieure au dépôt de ces sédiments ; ces pointements sont particulièrement abondants au voisinage des gisements de Moindou, où ils sont constitués par un type d'orthophyre très frais ; la venue de ces roches paraît avoir contribué pour une part au moins à la dislocation de la formation houillère ; peut-

être aussi ne serait-elle pas étrangère à la transformation en anthracite que le charbon, qui semble avoir été originairement riche en matières volatiles, subit en certains points.

M. Pelatan signale encore, sans leur attribuer d'âge, des pointements dioritiques médiocrement développés, qui se rencontreraient notamment au cap Deverd, à l'embouchure de la Nessadiou, près de Moindou, et à la Coulée près de Nouméa. Nous n'avons pas eu l'occasion de les observer en aucun de ces points, et nous ne connaissons de diorites en Nouvelle-Calédonie que comme formations accessoires, sans doute filoniennes, dans les massifs serpentineux.

Enfin les terrains crétacés, et les porphyres qu'ils renferment, sont recouverts en un grand nombre de points par une dernière formation éruptive, celle des péridotites.

B. — LES PÉRIDOTITES.

A côté des séries éruptives que nous avons passées en revue ci-dessus, celle des péridotites, que nous venons de mentionner en dernier lieu, se présente avec une importance tout à fait prédominante ; c'est même, nous n'hésitons pas à le dire, la plus importante de toutes les formations de la Nouvelle-Calédonie : sans le céder en rien aux diverses séries sédimentaires comme extension, puisqu'elle recouvre à peu près un tiers de la superficie de la colonie, soit 600.000 hectares, elle marque le trait le plus caractéristique à la fois de la configuration géographique et de la constitution géologique du pays ; enfin, c'est à elle que sont associés, ou plutôt c'est d'elle que dérivent certainement, les minerais de nickel, de cobalt et de chrome, ces richesses minérales qui se présentent en Nouvelle-Calédonie d'une façon si exceptionnelle, et qui depuis 25 ans fournissent à l'industrie minière de notre colonie

la très grande majorité, lorsque ce n'est pas, comme aujourd'hui, la totalité des produits qu'elle exploite. Cette formation mérite donc à tous égards de fixer notre attention.

Les péridotites et les produits secondaires qui en proviennent constituent ensemble ce que nous avons déjà appelé, et ce que nous continuerons à appeler, la formation serpentineuse; cette formation recouvre, avons-nous dit, environ le tiers de la colonie : nous en avons figuré les limites sur la *fig.* 2 de la Pl. XI, en les traçant, toutes les fois que nous l'avons pu, d'après nos observations personnelles, et en y suppléant, lorsque cela était nécessaire, à l'aide des indications de la carte géologique de M. Pelatan. Comme on le voit, les serpentines apparaissent d'abord dans la région méridionale de la colonie, au Sud d'une ligne sinueuse allant du mont Dore jusqu'à la baie de Nakety, sous la forme d'un massif compact d'une superficie de 350.000 hectares environ, au milieu duquel nous n'avons pu noter la présence que de deux pointements de roches étrangères à la formation, roches qui se sont trouvées être du granite dans les deux cas. Elles se répartissent ensuite sur toute la longueur restante de l'île pour former, tantôt les traits les plus marquants de la configuration du rivage oriental, tantôt quelques-uns des hauts sommets de la chaîne centrale, et tantôt une série de pitons alignés le long de la côte Ouest : elles constituent ainsi une quinzaine ou une vingtaine de massifs séparés, de dimensions très variables, reposant sur les terrains sédimentaires des différents âges. Leur extension dépasse même celle de la Grande-Terre, puisque au Sud elles se montrent à l'île des Pins et forment ensuite la totalité de l'île Ouen, et puisqu'elles jalonnent encore, assez loin au Nord de la presqu'île d'Arama, l'alignement des îles Yandé et Belep.

Tous ces massifs ne présentent souvent que des escar-

pements rocheux très abrupts; la péridotite en constitue alors presque uniquement les divers contreforts et les pointements; tel est le cas de plusieurs des pitons du Nord de la côte Ouest : le mont Kaala, le Taom, les aiguilles de Muéo, etc.; d'autres fois, elle apparaît en masses arrondies s'étageant jusqu'à la plaine ou jusqu'au rivage par des pentes relativement douces, entre lesquelles s'ouvrent en éventail des ravins profondément découpés; dans ce cas, les pentes se recouvrent de produits d'altération plus ou moins meubles, tandis que la roche compacte et dure affleure sur les arêtes et le long des parois abruptes des ravins; le mont Dore près de Nouméa et le mont Do au-dessus de Bouloupari en sont des exemples typiques; enfin, se rapprochant plus ou moins du genre précédent avec lequel on peut établir pour ainsi dire toutes les transitions, comme d'ailleurs entre celui-là même et le premier que nous avons mentionné, nous distinguerons un troisième type de massifs serpentineux, celui des plateaux, auxquels on donne aussi quelquefois dans la région le nom de dômes, nom que nous aurions plus volontiers réservé pour des montagnes de la forme du mont Dore ou du mont Do. De tels massifs sont généralement recouverts de produits d'altération accumulés sur le plateau supérieur et envahissant encore presque tous les contreforts à pente plus ou moins douce qui en descendent. L'exemple le plus remarquable d'un massif affectant cette configuration est celui du plateau de Tiea, dont nous donnerons dans la suite un croquis en plan avec lignes de niveau et une coupe; le dôme de Tiebaghi en est un autre exemple très net; enfin l'extrémité sud-orientale de la colonie affecte dans l'ensemble une forme de plateau assez bien marquée.

La variété de la forme de ces différentes montagnes ne nous a pas paru tenir à une différence quelconque entre la nature des roches qui constituent les unes et

les autres, et c'est plutôt soit à la configuration originaire desdits massifs, soit à leur position géographique dans l'île, que nous paraît devoir être attribuée la différence de leurs formes; d'ailleurs cette différence se retrouve souvent sur une petite échelle dans le même massif, si bien qu'à peu de distance on peut noter la présence d'un piton très escarpé et complètement dénudé, puis celle d'un contrefort extrêmement aplati dans lequel la roche sous-jacente, identique cependant à celle de l'escarpement, disparaît complètement sous les formations superficielles. Mais, si la nature de la roche ne paraît pas avoir donné lieu par elle-même à cette variété des formes extérieures, ces formes ont eu une influence extrêmement marquée et fort importante, sinon certainement sur la formation, du moins sur la conservation des produits de l'altération des péridotites, produits où se sont précisément concentrées les richesses minérales qui offrent l'intérêt que nous avons dit.

Toutes les fois que la roche serpentineuse n'est pas dissimulée par ces produits d'altération, elle apparaît sous la forme de rochers déchiquetés, durs, à arêtes vives, dont la surface extérieure, exposée aux actions atmosphériques, prend de loin une teinte générale d'un gris rosé, et offre de près des colorations variant du rose au jaunâtre ou au vert plus ou moins foncé et exceptionnellement au gris foncé. Entre les blocs rocheux poussent, grâce aux petites quantités d'argile ferrugineuse et de terre végétale qui peuvent s'y accumuler, une série d'arbrisseaux et de broussailles aux formes rabougries, au feuillage maigre et peu coloré, qui contribuent à donner aux escarpements ainsi constitués un aspect aussi caractéristique de loin que de près; cet aspect est d'ailleurs complété par l'effet très spécial que produisent les grandes masses d'argile rouge, toujours plus ou moins

abondantes au voisinage de ces rochers; il ne saurait tromper, même de fort loin, l'observateur qui a circulé quelque peu dans la colonie.

Lorsque, s'approchant des roches, on les attaque au marteau, on est surpris de les voir offrir à l'examen à l'œil nu ou à la loupe des aspects assez différents d'un massif à l'autre : en effet, sans même parler des roches tout à fait serpentinisées et notoirement très altérées, on rencontre des péridotites saines ou à peu près, dont la pâte présente des couleurs variant du jaune le plus clair au vert le plus foncé en passant par des tons intermédiaires vert jaune et vert brunâtre. La cassure de la masse est toujours grenue ou légèrement esquilleuse: elle montre d'ailleurs des pyroxènes, en nombre tantôt très restreint et tantôt considérable; ces cristaux, de dimensions variables, se distinguent par le miroitement de leur clivage à éclat quelquefois argentin, mais le plus souvent vitreux, et ils présentent des colorations généralement d'un vert plus ou moins tendre, mais parfois aussi d'un brun très accusé. Enfin l'œil, surtout aidé de la loupe, y découvre toujours un grand nombre de cristaux noirs et brillants, souvent en octaèdres bien formés, qui sont du fer chromé.

Examinées sous le microscope en plaques minces, ces roches se montrent toutes constituées de masses grenues, sans formes cristallines bien nettes, de péridot; rarement très frais, le péridot est généralement plus ou moins altéré et sillonné de veinules d'antigorite ou serpentine cristallisée; quelquefois même il est complètement transformé en une masse de cristaux enchevêtrés d'antigorite à structure plus ou moins calcédonieuse, masse dont on ne devine plus alors l'origine que par la disposition des différents réseaux cristallins, qui reproduisent encore plus ou moins nettement le réseau de craquelures que l'on a vu, dans d'autres échantillons, envahir peu à peu le péridot

avec développement de fibres d'antigorite. Au milieu de cette pâte de péridot se montrent, plus ou moins nombreux suivant les échantillons, des cristaux nets, généralement un peu allongés, d'un pyroxène orthorhombique (silicate ferreux magnésien dépourvu de chaux) que ses propriétés optiques classent le plus souvent nettement dans le type enstatite, mais qui passe parfois à la bronzite ; ces cristaux, généralement beaucoup plus frais que les grains de péridot, sont cependant quelquefois altérés : ils laissent voir alors une série de petites lamelles de talc se développant dans leurs clivages. Enfin on observe de nombreux fragments de fer chromé, tantôt sans forme définie, tantôt présentant des sections nettes d'octaèdre.

Soumises à l'analyse chimique, ces roches se sont toujours montrées ultrabasiques, très fortement chargées en magnésie, et relativement peu ferreuses ; elles contenaient en outre d'une façon constante des quantités plus ou moins importantes de nickel, de cobalt, et de manganèse.

Les roches qui se montraient les plus fraîches comme aspect extérieur, avec une coloration vert jaune relativement pâle, et dans lesquelles le microscope laissait voir des cristaux bien conservés, retenaient peu d'eau ; la partie attaquable aux acides présentait une composition typique d'olivine telle que la suivante (échantillon provenant de la carrière Pierrette de la mine Reis n° 2, à Népoui) :

Silice	43,27
Protoxyde de fer	7,91
Magnésie	49,44
Manganèse	traces sensibles
Oxydes de nickel et de cobalt	0,11
Chaux	Néant

L'échantillon analysé laissait, d'autre part, 20,5 p. 100 de matière inattaquée constituée par de l'enstatite et par 2 millièmes 1/2 du poids initial de l'échantillon de fer

chromé. L'enstatite isolée de cette roche présentait d'ailleurs la composition suivante :

Silice	55,3
Protoxyde de fer	8,2
Magnésie	31,4
Oxydes de nickel et de cobalt	0,4
Chaux	2,5
Perte au feu	1,6

La proportion d'enstatite est d'ailleurs très variable d'une roche à l'autre : nous avons recueilli sur la mine Française, à Poro, des échantillons d'une roche à péridot, finement grenue, jaune clair, dont l'examen, soit à la loupe soit au microscope, ne permettait de déceler aucun cristal d'enstatite, et qui, attaquée par l'acide chlorhydrique, ne laissait indissous que de nombreux petits cristaux de fer chromé ; elle était d'ailleurs déjà assez fortement serpentinisée, comme le montrait l'examen microscopique, et comme le confirmait l'analyse chimique, qui y révélait une teneur en eau de 10,5 p. 100; cette analyse donnait pour cette roche la composition globale suivante :

	Composition brute	Composition après déduction de l'eau
Perte au feu	10,50	»
Silice	37,80	41,39
Protoxyde de fer	6,50	7,12
Magnésie	44,60	48,83
Manganèse	traces sensibles	traces
Oxydes de nickel et de cobalt	2,43	2,66
Chaux	traces	traces

Inversement, bon nombre des échantillons de péridotite que nous avons recueillis en différents points de la colonie contiennent des proportions très importantes d'enstatite, dont les lamelles envahissent souvent toute la largeur des cassures; l'enstatite s'isole même parfois en individus

de quelques centimètres de longueur au milieu de la péridotite. Ces pyroxènes n'ont pas toujours les caractères que nous avons indiqués ci-dessus; l'échantillon dont nous avons rapporté l'analyse était d'un vert très pâle et sa poussière complètement blanche; souvent ils présentent une coloration beaucoup plus brune avec un bel éclat bronzé offrant l'aspect typique de la bronzite, on y constate la présence d'inclusions ferrugineuses, et la poussière en devient jaunâtre : l'analyse que nous avons faite d'une échantillon de ce genre nous a donné les résultats suivants :

Perte au feu	10,5
Silice	43,2
Protoxyde de fer	12,5
Magnésie	35,5
Chaux	faibles traces

Nous ajouterons que, bien qu'ayant examiné sur place la nature des roches qui se montrent sur un très grand nombre d'entre les points où apparaît la formation serpentineuse, et qu'ayant recueilli des échantillons fort nombreux que nous avons étudiés en détail à notre retour en France, nous n'avons jamais rencontré dans la masse même des péridotites que des cristaux de pyroxène orthorhombique, c'est-à-dire pratiquement dépourvus de chaux (enstatite ou bronzite); et nous ne connaissons dans la colonie, comme pyroxènes clinorhombiques, que le diallage constituant des filons minces au milieu des péridotites, soit seul, soit associé à des feldspaths pour former des gabbros, ou bien encore servant de gangue à des filons ou à des amas de fer chromé. Nous rappellerons d'autre part que les pyroxènes clinorhombiques tiennent autant de chaux que de magnésie, et que cependant toutes les analyses globales des roches de la formation serpentineuse calédonienne que nous connaissons, soit

celles que nous avons fait faire à l'École des mines de Saint-Étienne, soit celles qui ont été faites autrefois en Nouvelle-Calédonie, soit celles que l'on fait actuellement sur les minerais de nickel qui contiennent toujours une proportion importante de stérile, ne décèlent jamais la chaux qu'en très petite quantité, alors que la magnésie y est toujours très abondante. Nous pensons donc que ceux de nos devanciers qui ont décrit la formation serpentineuse de la Nouvelle-Calédonie comme comprenant couramment du diallage ont peut-être confondu les deux séries de pyroxènes dont la distinction n'est souvent facile que par l'analyse chimique ou par l'examen des propriétés optiques au microscope polarisant.

M. Garnier, d'ailleurs, ne paraît pas s'être préoccupé d'établir la distinction entre les deux séries, puisqu'il emploie d'une façon courante le terme diallage-bronzite pour désigner les pyroxènes; et M. Heurteau, qui n'emploie que le terme diallage pour caractériser, suivant sa propre expression, « le minéral accidentel le plus fréquent dans la formation serpentineuse », ne semble pas non plus avoir cherché à spécifier duquel d'entre les différents pyroxènes il s'agissait. Enfin M. Pelatan distingue, en dehors de la « serpentine noble », qu'il mentionne comme relativement rare, des « serpentines pierreuses à texture bien homogène », c'est-à-dire sans doute des péridotites uniquement constituées de péridot comme nous en avons rencontré des exemples, des « serpentines à bronzite », où « à la bronzite se substituent quelquefois des masses lamellaires d'un gris nacré presque blanc d'enstatite », et enfin des « serpentines à diallage », où celui-ci apparaît en « lamelles brillantes et lustrées plus spécialement d'un vert bouteille ou d'un brun verdâtre », qui pourraient bien, d'après nos observations répétées sur des échantillons répondant tout à fait à cette définition, n'être que de petits cristaux d'une bronzite plus ou moins ferrifère.

Du reste, M. Lacroix (*), qui a examiné un certain nombre de roches rapportées par M. Pelatan, ne signale le diallage que dans des filons minces de gabbro, et mentionne, au contraire, l'enstatite-bronzite comme abondante dans les péridotites.

Le plus souvent les roches que l'on rencontre sont, comme nous l'avons dit, altérées par hydratation et perte d'un peu de magnésie, le péridot $2MgO,SiO^2$ passant à l'antigorite $3MgO,2SiO^2,2H^2O$, et l'enstatite MgO,SiO^2 passant au talc $3MgO,4SiO^2,2H^2O$. Dans les échantillons où l'altération n'est pas très profonde, celle-ci ne se manifeste, en dehors de l'examen microscopique et de la teneur en eau que décèle l'analyse chimique, que par une modification de la teinte : la diminution de transparence des éléments cristallins, péridot principalement, donne assez promptement à la masse une coloration d'ensemble d'un vert souvent très foncé; lorsque les pyroxènes sont assez fortement chargés en fer, ils communiquent à la roche une tonalité générale brunâtre avec reflets bronzés; d'autres fois, au contraire, lorsque les cristaux d'enstatite sont abondants et qu'ils se chargent de lamelles talqueuses, ils prennent un aspect blanc argenté qui tranche sur la coloration vert olive plus ou moins foncée de la pâte; dans des échantillons plus altérés, ils prennent une couleur rousse due à l'oxydation du fer, mais montrent encore le clivage caractéristique des pyroxènes. Lorsque l'altération est plus avancée encore, et que la transformation de la péridotite en serpentine est complète ou à peu près, la coloration de la masse redevient plus claire, variant du jaune verdâtre au brunâtre et quelquefois au gris pâle; elle est souvent zonée de teintes plus foncées, brunes ou bleues, dues en général à des bandes à cristallisation plus nette absorbant plus ou

(*) *Loc. cit.*, t. I, p. 550 et 590.

moins la lumière; la roche devient relativement tendre, sa cassure est inégale et mate, et l'ensemble apparaît à l'œil nu comme complètement amorphe, on n'y distingue généralement plus que les petits cristaux de fer chromé. Le microscope y reconnaît un agrégat confus de petits cristaux d'antigorite parfois groupés en étoilement, avec souvent des zones constituées par des lamelles de talc. L'analyse de tels échantillons se rapproche beaucoup de l'analyse typique de l'antigorite.

Un échantillon de serpentine gris clair légèrement veiné de bleu, provenant de la mine Francia près de Népoui, contenait :

Eau	13,45
Silice	41,3
Magnésie	38,84
Protoxyde de fer	6,06
Insoluble (principalement fer chromé)	0,3

D'une façon générale, le simple essai de la perte au feu donne une indication assez nette sur le degré d'altération des roches : tandis que la péridotite pierreuse de Népoui, dont nous avons donné l'analyse ci-dessus, ne contenait pas tout à fait 1/2 p. 100 d'eau, une collection de dix types plus ou moins altérés, depuis des roches assez fraîches jusqu'à des serpentines comme celle ci-dessus citée, nous a donné des teneurs en eau variant de 5 à 17,5 p. 100 et se rapprochant le plus souvent de 10 p. 100.

Nous définirons donc les roches qui constituent essentiellement la grande formation serpentineuse de la Nouvelle-Calédonie comme des péridotites grenues très magnésiennes et peu ferrifères, plus ou moins chargées, suivant les cas, de cristaux d'un pyroxène uniquement ferro-magnésien passant de l'enstatite à la bronzite. Ce seraient donc, suivant la classification de M. Rosenbuch, des Harzburgites ; on y rencontre d'ailleurs par places,

mais exceptionnellement, des massifs de Dunite (olivine avec fer chromé et sans pyroxène). Ces péridotites présentent le plus souvent les traces d'une altération avancée, qui comporte, d'une part, la transformation plus ou moins complète du péridot en serpentine, et, d'autre part, le développement de lamelles de talc aux dépens du pyroxène. Parfois la transformation est assez complète pour donner lieu à de véritables serpentines, uniquement constituées d'un agrégat de cristaux d'antigorite avec quelques paillettes de talc.

Ces roches contiennent d'ailleurs toujours un peu de manganèse, de nickel, et de cobalt, ces métaux paraissant faire partie intégrante du péridot comme de l'enstatite; les grains de fer chromé sont abondants dans tous les échantillons.

Enfin ces roches sont assez souvent traversées par des filons moins basiques : M. Garnier et, après lui M. Heurteau, signalent en différents points, à l'île Ouen, au cap Deverd, etc., des filons d'euphotide (que l'on appellerait aujourd'hui gabbro), c'est-à-dire de roches à feldspath et pyroxène ; nous avons, d'autre part, trouvé des diorites tantôt à grain fin, tantôt à très grands cristaux de hornblende, au milieu de différents massifs serpentineux.

Quant au mode de gisement de ces péridotites, nous n'avons pas pu l'établir d'une façon certaine. De telles roches, à pâte infusible, et présentant une cristallisation à grands éléments, sont généralement considérées comme des roches qui auraient cristallisé en profondeur, c'est-à-dire qui se seraient épanchées en masses intrusives dans des terrains enfoncés dans la profondeur du sol, ou qui se seraient insinuées entre les différentes assises de ces terrains ; elles n'apparaîtraient ensuite au jour que par l'effet de mouvements orogéniques et d'érosions. Tel ne paraît guère être le cas en Nouvelle-Calédonie. Tout d'abord,

toutes les fois que nous avons pu observer le contact des péridotites et des assises sédimentaires sous-jacentes, nous avons vu les péridotites reposer sur une surface plane ou à peu près, recoupant nettement les bancs et leurs différents plissements; cela n'indique en aucune façon une intrusion ou même une tendance à l'intrusion suivant des plans de séparation facile, mais cela manifeste beaucoup plutôt une superposition des serpentines au-dessus d'une surface d'érosion des différentes strates sédimentaires; c'est d'ailleurs, croyons-nous, également comme cela qu'il faut comprendre ce qu'en dit M. Piroutet dans la courte note que nous avons déjà citée, lorsqu'il déclare que l'épanchement des serpentines est postérieur non seulement aux dépôts du crétacé, mais encore au dernier plissement qui a formé la Nouvelle-Calédonie. M. Pelatan(*) les considérait déjà comme des épanchements débordant visiblement au-dessus des terrains stratifiés qui, « loin de paraître soulevés par les roches magnésiennes, semblent plutôt plonger sous elles et en être recouverts ». M. Heurteau, qui, rappelons-le, n'avait pas été amené à examiner d'une façon particulièrement détaillée cette formation serpentineuse, dont l'exceptionnelle richesse minérale n'était alors qu'à peine entrevue, avait cru, au contraire, que les formations sédimentaires s'appuyaient sur les serpentines.

Quoi qu'il en soit, nous considérons comme établi que les péridotites sont venues se superposer aux terrains sédimentaires, crétacé compris, et recouvrir la surface qu'ils montraient au jour. Faut-il dès lors les considérer, comme paraît le faire M. Pelatan, comme de puissantes coulées éruptives, au même titre que des coulées de lave ou de basalte? C'est ce que nous ne saurions dire; ce serait d'abord contraire aux idées généralement admises au

(*) *Loc. cit.*, p. 36 et 37.

sujet de la genèse des péridotites; en outre, nulle part nous n'avons pu observer les cheminées par lesquelles ces coulées seraient venues au jour; nulle part non plus nous n'avons relevé dans leur distribution quelque indication dans ce sens. Nous aurions tout d'abord voulu tirer enseignement de l'étude des contacts de ces péridotites avec les roches sous-jacentes, et nous y avons cherché les traces des effets calorifiques qu'aurait dû produire, semble-t-il, l'épanchement de nappes aussi puissantes de roches en fusion (rappelons que des massifs isolés et qui sont sans nul doute entièrement constitués de péridotite, comme le Kaala, le Taom, les aiguilles de Muéo, etc., s'élèvent d'un millier de mètres au-dessus de la surface, presque horizontale et régulière, par laquelle ils reposent sur les sédiments sous-jacents); mais nous n'avons relevé aucun argument décisif à ce sujet. La présence, au voisinage de la limite des serpentines, de couches anthraciteuses, alors que l'on rencontre ailleurs des couches de charbon du même âge très chargé en matières volatiles, paraîtrait pouvoir être un argument; mais, d'une part, il ne semble pas qu'il y ait une relation constante entre la proximité des serpentines et la pauvreté du charbon en matières volatiles, et, d'autre part, les assises crétacées qui contiennent le charbon sont traversées d'autres roches éruptives, orthophyres ou mélaphyres, à l'effet desquelles on peut tout aussi bien attribuer la transformation locale du charbon en anthracite, si l'on croit devoir rapporter cette transformation à une action calorifique.

D'un autre côté, en examinant les contacts, nous n'avons rien relevé de net comme métamorphisme des schistes sous-jacents, bien que M. Piroutet déclare avoir dûment constaté en quelques endroits l'existence de schistes serpentineux provenant de dépôts sédimentaires métamorphisés; nous avons, au contraire, trouvé à la base de certains massifs de péridotite des lits de roches complètement

laminées, d'aspect pailleté ou fibreux, qui étaient constituées de fibres de serpentine paraissant s'être développées aux dépens de péridot, tout comme dans les péridotites normales, mais qui se montraient toutes contournées, ce qui indique que la roche en question aurait subi un effet de laminage après serpentinisation. Cela ne peut guère s'expliquer que par une friction énergique de la roche déjà serpentinisée sur son socle sédimentaire. Faudrait-il y voir simplement la preuve qu'il y a eu récemment de petits déplacements de ces massifs de péridotite sur leur base à la faveur de quelque mouvement sismique, ou ne pourrait-on pas, au contraire, y chercher l'indication que ces masses de péridotite auraient été jetées, après solidification souterraine et serpentinisation plus ou moins avancée, sur le sol de la Nouvelle-Calédonie par l'effet d'une sorte de charriage au cours d'un des bouleversements formidables qui ont dû affecter cette région du Pacifique?

Nous n'oserions pas, d'observations éparses qui n'ont pas pu être faites et refaites à loisir avec un contrôle ultérieur sur le terrain des résultats de l'examen des échantillons, tirer formellement une semblable conclusion.

Nous tenons seulement à attirer l'attention sur ce point, en faisant remarquer combien une pareille explication de l'origine des péridotites, rapprochée de ce fait certain que, même très fraiches, elles renferment toujours une proportion très notable de nickel, apporterait un argument décisif en faveur de l'origine purement superficielle des gites de nickel. Ces gîtes seraient dès lors, à n'en pas douter, des gîtes de sécrétion, puisque, pour leur attribuer une origine profonde, il faudrait la rapporter à des venues filoniennes qui seraient tout à fait indépendantes des péridotites et qui n'auraient dès lors plus aucune raison d'y être indissolublement associées.

En terminant ce qui a trait aux formations qu'on ren-

contre au contact des serpentines et des terrains sédimentaires sous-jacents, nous rappellerons que c'est dans ces formations qu'ont été découvertes, il y a quelques années, près de Koumac, des traces d'huile minérale.

C. — Les produits de l'altération superficielle des péridotites.

Après avoir décrit les péridotites et les roches serpentineuses qui en dérivent par un procédé d'altération en somme mal connu, comportant une hydratation sans oxydation, puisque tout le fer reste à l'état de sel ferreux, il nous reste à fournir quelques indications sur les produits qui nous paraissent devoir être rapportés à l'altération superficielle, avec oxydation cette fois, des péridotites et serpentines, et qui recouvrent une large portion de la superficie occupée par la formation serpentineuse.

Des produits d'altération, généralement bréchoïdes et noyés dans un magma magnésien complexe, qui occupent les fentes et fissures ouvertes dans la roche au voisinage plus ou moins immédiat de la surface ou qui en empâtent les blocs superficiels désagrégés, nous ne parlerons pas ici; c'est là le gisement habituel du nickel, et nous y reviendrons dans la suite. Nous ne nous proposons de faire connaître pour le moment que les formations de quartz carié, les argiles rouges ferrugineuses, et les concrétions magnésiennes.

On ne peut parcourir aucun des massifs serpentineux de la colonie, sans rencontrer, pour ainsi dire à tous les pas, soit recouvrant les pentes douces, soit s'associant aux blocs rocheux des escarpements, des fragments siliceux extrêmement nombreux et d'aspect caractéristique : ils se présentent sous la forme de débris plus ou moins volumineux d'un réseau parallélipipédique de cloisons de

quartz cristallin teinté de jaune; tantôt ce ne sont qu des morceaux menus de plaquettes quartzeuses que l'c peut ramasser, tantôt au contraire on recueille plusieu de ces cloisons assemblées en parallélipipède, et souvei elles renferment encore une masse brunâtre plus ou moi désagrégée chargée d'oxyde de fer et de magnésie. S après avoir examiné de tels fragments, on reporte le yeux sur les blocs serpentineux qui affleurent au vois nage et qui, bien qu'exposés aux actions atmosphérique ne sont pas encore complètement désagrégés, on voit s dessiner sur leur surface une sorte de damier tracé pa des filonnets quartzeux, à l'intérieur desquels la roche s montre plus ou moins profondément altérée; et l'on n tarde pas à comprendre par quel processus les agent atmosphériques n'ont laissé, comme restes des roche serpentineuses qu'ils ont démantelées, que des squelette quartzeux après avoir emporté plus loin le fer et la magné sie. Il apparaît en effet comme constant que le premie effet de désagrégation, qui paraît affecter les péridotite fraîches tout comme les roches serpentinisées, mais sar doute plus facilement les secondes que les premières, e une sorte de craquellement ouvrant dans la roche de plans de fissuration qui y dessinent un réseau parallélip pédique plus ou moins régulier. Dès lors les eaux q viendront à imbiber la roche, sous l'effet de pluies souve extrêmement abondantes, dissoudront peu à peu le qua de la masse, pour le déposer ensuite le long de ces fissur et former ces sortes de cloisons au milieu desquelles il restera qu'une masse peu consistante de fer peroxydé de magnésie, pour autant que cette dernière n'aura p été dissoute par les eaux légèrement chargées d'aci carbonique qui ont traversé la masse. Lorsque, ensuite, ce têtes rocheuses viennent à se démanteler, il s'en détach des plaquettes quartzeuses qui tombent sur le sol, tand que les eaux courantes entraînent les matières ferrug

neuses et quelque peu magnésiennes qui subsistaient entre ces plaquettes, pour aller les déposer plus loin et constituer ainsi les argiles rouges, dont nous avons maintenant à faire mention.

Toutes les pentes douces qui se développent au pied des massifs serpentineux, et toutes les surfaces à faible pente qui se rencontrent à leur sommet ou sur leurs arêtes et leurs contreforts, sont recouvertes par une formation rouge de consistance argileuse, qui présente un aspect très uniforme dans son ensemble et tout à fait caractéristique des massifs serpentineux de la colonie. Cette formation, qui recouvre les têtes des roches serpentineuses, partout où elle a pu se fixer, soit grâce à une pente naturelle suffisamment faible des roches sous-jacentes, soit à la faveur de quelque dépression dans la surface de ces roches formant une sorte de *vasque*, présente souvent une épaisseur de plusieurs mètres, atteignant même plusieurs dizaines de mètres au centre de certaines vasques profondément découpées. Elle se montre d'ailleurs peu homogène dans son ensemble, constituée par des lits successifs plus ou moins bien différenciés, dont la couleur et la composition varient quelque peu.

Le plus généralement elle se présente sous forme d'une terre grasse, imperméable, assez plastique, et s'agglutinant sous la pression, avec une couleur très accentuée variant du jaune rougeâtre au rouge violacé ; examinée de près, elle apparaît constituée d'une terre rouge empâtant des débris divers, parmi lesquels on distingue surtout de petits cristaux de fer chromé et des fragments de cristaux d'enstatite altérée, c'est-à-dire les restes des minéraux les moins facilement attaquables des péridotites. On y trouve parfois des lits plus ou moins complètement constitués de sable quartzeux jaune ; la surface en est généralement recouverte de grains ou de blocs d'oxyde de

fer ; quelquefois les grains ferrugineux se concentre en outre dans certains lits intermédiaires de la formatior enfin c'est là que s'intercalent les gisements de fer chron d'origine détritique et les traînées de minerai de coba dont nous aurons à reparler, de même que les amas d blocs et de grains d'oxyde de fer.

Nous reviendrons ultérieurement sur la composition chi mique de ces argiles rouges et nous en donnerons quelque analyses (Voir ci-après, troisième partie, chap. III, *B*). C qu'il importe pour le moment d'en faire connaître, c'est qu'e dehors des formations minérales accidentelles dont no venons de parler, ou des débris de minéraux que nous avo mentionnés, elles sont essentiellement constituées pa du sesquioxyde de fer légèrement chargé d'oxydes d manganèse, de nickel, et de cobalt, ou même de chrom Ces oxydes métalliques interviennent généralement pou les 2/3 ou les 3/4 dans la composition du mélange, et i ne sont associés à de la silice, de l'argile, et de la magn sie qu'en proportion toujours assez faible ; l'argile, pa exemple, ne constitue pas plus de quelques centièmes d la masse.

C'est donc à tort que l'on désigne ces formations sou le nom d'argiles ferrugineuses, nom qui évoquerait l'idé d'une prédominance de l'argile dans la composition de masse ; néanmoins cette expression rend assez bien comp de l'apparence présentée par ces masses d'oxyde de fe aussi l'emploierons-nous avec les auteurs qui l'ont dé décrite, mais en faisant bien remarquer que c'est là u terme impropre.

Une telle formation nous a paru avec évidence devo être regardée comme constituée aux dépens des serpe tines désagrégées par les actions atmosphériques, et comn résultant du transport d'une partie de leurs éléments par l eaux courantes. M. Heurteau les avait déjà considéré comme étant formées aux dépens des serpentine

M. Pelatan (*), tout en reconnaissant qu'elles proviennent principalement de la décomposition sur place des serpentines à bronzite, ajoute que cette décomposition a dû être provoquée par des émanations minérales et métallifères et être accompagnée du départ d'une forte proportion de magnésie. Cette dernière idée est d'ailleurs à peu près celle qui avait été émise quelques années avant la publication du travail de M. Pelatan par M. Levat (**), pour lequel ces argiles rouges seraient des dépôts d'eaux thermales ayant dissous en profondeur du fer, emprunté, pense-t-il, aux roches serpentineuses, puis ensuite de l'argile, empruntée à des schistes, et qui auraient alors déposé à la fois les argiles rouges et les grains ferrugineux qui les recouvrent. Pour notre part, nous ne voyons pas la nécessité d'invoquer ici des venues d'eaux thermales de la profondeur et des phénomènes de dissolution plus ou moins compliqués ; nous ne voyons dans la formation des argiles rouges que l'effet du transport à courte distance d'une partie des éléments détritiques provenant de la décomposition superficielle des péridotites : celles-ci sont constituées, comme nous l'avons dit, essentiellement de silice, de magnésie et de protoxyde de fer, avec accessoirement de petites quantités d'alumine, d'oxyde de manganèse, et d'oxydes de nickel et de cobalt : si l'on admet que les eaux superficielles aient pu en dissoudre certains éléments, puis déposer immédiatement la silice sous la forme des plaquettes quartzeuses que nous connaissons déjà, entraîner la majeure partie de la magnésie en solution sous forme de chlorures, sulfates, ou carbonates, et laisser le fer à l'état de sesquioxyde désagrégé retenant en tout ou partie les petites quantités d'alumine et

(*) *Loc. cit.*, p. 45.
(**) David Levat, *Etude sur les gisements de nickel, de cobalt et de chrome de la Nouvelle-Calédonie* (*Association française pour l'avancement des sciences*, Congrès de Toulouse, 1887).

d'oxydes de manganèse, de nickel, et de cobalt, il parait tout naturel d'admettre, qu'une fois le squelette quartzeux des roches brisé, ces matières désagrégées aient été charriées par les eaux et déposées, soit sur les pentes douces, soit dans le fond des vasques formées par les roches avoisinantes; avec ces matières, principalement ferrugineuses, étaient d'ailleurs entraînés soit des restes non dissous de la roche même, fragments d'enstatite (minéral résistant beaucoup mieux à la décomposition que le péridot) et de fer chromé, soit des débris des plaquettes quartzeuses qui, suivant les circonstances, se répartissaient dans la masse du dépôt en formation ou se concentraient dans des lits spéciaux. En même temps, sous l'effet d'actions chimiques difficiles à préciser mais que l'on peut cependant imaginer, certains éléments se dissolvaient pour se précipiter ensuite dans des conditions spéciales : le nickel avec la magnésie, pour se déposer sur les roches et dans leurs fentes et interstices sous la forme des hydrosilicates dont nous aurons à reparler; le cobalt avec le manganèse, pour constituer des rognons épars dans l'argile rouge.

De tous les éléments des péridotites ainsi exposés à la dissolution par les eaux superficielles, la magnésie est certainement le plus soluble à la faveur de petites quantités d'acide chlorhydrique ou sulfurique, ou simplement d'acide carbonique; il n'est donc pas surprenant que, bien qu'elle soit absolument dominante dans les roches serpentineuses, elle n'apparaisse qu'en petite quantité dans les argiles rouges, et qu'elle ne donne lieu qu'à des formations beaucoup moins importantes que la silice ou le fer. On peut d'ailleurs constater tous les jours les importantes quantités de magnésie qui sont emportées à la mer par les eaux des torrents qui descendent des massifs serpentineux ; ces eaux contiennent en effet constam-

ment une proportion très notable de magnésie. Néanmoins, soit l'évaporation naturelle, soit le départ de l'acide carbonique à la faveur duquel certaines eaux s'étaient chargées de bicarbonate de magnésie, soit un effet de précipitation chimique, amènent dans certains cas le dépôt d'une partie de la magnésie ainsi entraînée : on le constate d'abord dans les gisements de nickel où la magnésie s'est abondamment précipitée avec ce métal; on le constate ensuite par la formation d'enduits blancs plus ou moins importants à la surface du sol ou le long de parois rocheuses. On l'observe enfin par la rencontre d'efflorescences de carbonate de magnésie ou giobertite, qui se forment souvent au pied des massifs serpentineux au contact de ceux-ci et des terrains sédimentaires, peut-être par suite d'une double décomposition chimique. Ce phénomène s'observe avec une netteté particulière au pied des massifs serpentineux qui bordent la côte Ouest : les schistes argileux noirs des plaines qui s'étendent entre Koumac et Voh sont semés, d'une façon spécialement abondante, de ces sortes d'efflorescences, souvent assez épaisses, de carbonate de magnésie très pur.

Avec l'énumération des produits secondaires dérivés des Péridotites, nous avons achevé la description des formations géologiques de la Nouvelle-Calédonie : on peut, sans exagération, dire qu'aucune d'entre elles n'est stérile au point de vue des richesses minérales; les terrains primitifs renferment une partie des mines de cuivre de la colonie et quelques traces d'or; aux schistes sédimentaires sont associés les autres minerais de cuivre et d'or et quelques métaux divers; les assises crétacées renferment le charbon; enfin la formation serpentineuse contient le nickel, le cobalt, et le chrome. Nous allons chercher à donner successivement une idée des conditions dans lesquelles se présentent les différents gisements, en commençant

par les derniers énumérés pour respecter l'ordre d'importance pratique; ce sont d'ailleurs les seuls exploités aujourd'hui. Nous passerons ensuite aux métaux divers dont quelques-uns ont été exploités autrefois, et enfin nous examinerons le charbon, qui n'a jamais été utilisé jusqu'ici.

DEUXIÈME PARTIE.

LES MINES DE NICKEL.

CHAPITRE PREMIER.

LES MINERAIS DE NICKEL DE NOUVELLE-CALÉDONIE.

A. — Indications générales.

Pendant de longues années le nickel n'a été connu dans le monde que comme un des métaux relativement rares se rencontrant accessoirement dans les filons métallifères complexes : ses minerais étaient des sulfures, ou des sulfo-arséniures et antimoniures, tenant, suivant les espèces, de 25 à 65 0/0 de nickel, et se présentant en petites quantités disséminées au milieu des minerais sulfurés et sulfo-arséniés ou antimoniés de l'argent, du cuivre, du plomb et du zinc. On avait également exploité en Suède et en Amérique des sulfures de fer et de nickel, et des chalcopyrites nickelifères plus ou moins riches en nickel. On ne connaissait guère, comme minerais oxydés du nickel, que les produits d'oxydation de ces minerais, c'est-à-dire des hydrocarbonates, arséniates et sulfates, rencontrés d'une façon exceptionnelle au chapeau de ces filons complexes. On avait cependant signalé les hydrosilicates, mais seulement au point de vue minéralogique, en Silésie sous le nom de Pimélite (15 p. 100 de nickel), et plus tard en Amérique (Pensylvanie et Idaho), puis en Espagne près de Malaga, sous le nom de Genthite, tenant 38 p. 100 de nickel.

La Saxe, la Hongrie, la Suède, le Piémont et la Pensylvanie étaient à cette époque les fournisseurs uniques des quelques centaines de tonnes de nickel consommées dans le monde entier.

C'est en Nouvelle-Calédonie que les hydrosilicates de nickel, que l'on a d'ailleurs retrouvés depuis plus ou moins abondants en différents autres points du globe, ont été signalés pour la première fois comme minerais. M. Garnier mentionne en effet, dans son rapport de 1867 (*), l'existence, en différents points de la colonie, d'enduits verts ou d'imprégnations vertes sur les silicates magnésiens dont la matière colorante est le nickel. Quelques années plus tard, le professeur Liversidge de Sydney, y distinguait deux espèces minérales, la Garniérite et la Nouméite, que l'on tend actuellement à réunir sous le seul nom de Garniérite. Lors de l'exploration géologique de M. Heurteau en Nouvelle-Calédonie, on avait déjà constaté la présence de silicates de magnésie plus ou moins colorés par le nickel en un certain nombre de points de la formation serpentineuse ; et l'on venait même de découvrir, au mont Dore, un filon de 1m,25 de puissance rempli pour moitié environ d'un silicate de nickel vert ou bleuâtre qui, trié avec soin pour le séparer des argiles magnésiennes incolores dans lesquelles il était empâté, donnait à l'analyse la composition suivante (**) :

Gangue quartzeuse...	3	
Silice................	41	
Alumine.............	0,60	
Protoxyde de nickel..	19	soit, nickel métallique : 14,95
Magnésie............	16,30	
Chaux...............	traces	
Eau.................	20	
TOTAL.........	99,90	

(*) *Loc. cit.*, p. 85 et 86.
(**) HEURTEAU, *loc. cit.*, p. 394-395.

Depuis lors se sont multipliées avec rapidité l
vertes de filons et filonnets de silicate vert de
milieu des serpentines ; ce sont ces minerais q
d'abord l'objet des exploitations, et c'est sur les
lons les plus purs d'entre eux qu'ont été faites l
minations des espèces minérales désignées sous
de Garniérite et de Nouméite par Liversidge, et
exécutées les analyses que nous citerons ci-aprè

Ce n'est que quelques années après le comm
de ces exploitations que l'on s'est aperçu, qu'ass
silicates verts, existent dans beaucoup de giser
filonnets, plaquettes, ou enduits d'une matière
aussi riche en nickel et n'en différant guère q
couleur, qui varie du brun chocolat foncé au jau
cette matière, à laquelle a été donné le nom de ni
colat, a dès lors été tout aussi recherchée que
vert.

A mesure que les exploitations se développaie
les essais se multipliaient, on apprenait à connaîtr
minerais de nickel, les uns pulvérulents ou terre
d'un vert franc, tantôt tirant sur le jaune ou le
autres présentant tous les caractères de concré
ceuses et ne s'en distinguant que par une belle c
verte, d'autres enfin de consistance argileuse, ta
vert plus ou moins foncé, tantôt très pâles et n
riches. En même temps que l'on recueillait ave
blocs, morceaux et poussières isolés de ces min
exploitait les péridotites auxquelles ils étaient
et qui se montraient plus ou moins criblées de
de ces minéraux ou qui en retenaient des débris.
nets se distinguaient aisément dans les roches
tandis que dans les roches altérées ils ne se
plus soupçonner que par des apparences quelque
taines, que seul le mineur habitué réussissait à re
plus ou moins bien, mais qu'on a ensuite appris

par l'analyse chimique. Dès lors l'exploitation a pu porter également sur des serpentines complètement altérées à caractère terreux et où aucune trace des minerais que nous venons de mentionner n'est plus discernable ; elle s'est enfin étendue peu à peu à des matières plus friables encore, c'est-à-dire à de véritables terres dont la coloration varie du brun rougeâtre au brun jaunâtre, et qu'il est à peine possible, dans un même gisement déterminé, de distinguer à l'œil des terres stériles voisines, une fois que des analyses ont permis de les caractériser par leur coloration, par leur caractère plus ou moins grenu ou plus ou moins agglutiné, par la facilité plus ou moins grande avec laquelle elles absorbent l'humidité, etc.

Ajoutons que tous ces minerais sans exception se rencontrent, toujours et uniquement, dans les massifs de péridotite ; ils ne paraissent pas d'ailleurs être associés spécialement à tel ou tel type particulier de ces roches, ou correspondre à un degré de décomposition ou de serpentinisation déterminé ; nous en avons vu des gisements aussi bien dans des péridotites très fraiches que dans des péridotites fortement serpentinisées, de même que nous en avons noté la présence au voisinage de dunites et également dans des péridotites chargées en enstatite ; notons néanmoins que c'est dans la région, pratiquement dépourvue de minerais de nickel, de la baie du Sud que nous avons trouvé les types de péridotite les plus riches en enstatite. Le minerai de nickel est d'ailleurs toujours nettement associé aux parties superficielles des massifs de péridotite, c'est-à-dire aux parties ayant subi les altérations dues aux agents atmosphériques : c'est un point sur lequel nous reviendrons en détail.

B. — Différents types de minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie.

On voit par ce qui précède qu'il est assez malaisé de décrire les différents minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie, et la difficulté d'une semblable description est d'autant plus grande que l'on peut rencontrer pratiquement tous les passages d'un type à l'autre. Nous essaierons cependant de donner une idée de ce que sont les types que l'on rencontre le plus fréquemment. Nous les partagerons tout d'abord en deux catégories : les minerais qui sont, ou qui paraissent tout au moins, homogènes dans l'ensemble, et ceux qui, constitués par des portions de roches, des débris de roches, ou des terres, sont des masses minéralisées complètement inhomogènes, et sont vraisemblablement plus ou moins chargés des premiers. Mais ici déjà notre distinction est quelque peu arbitraire, et, si elle peut avoir une certaine utilité pratique, elle n'a aucune valeur scientifique, puisque nous savons parfaitement que l'analyse chimique ou l'examen microscopique montre le défaut d'homogénéité de la plupart des minerais que nous classerons dans le premier groupe.

Parmi les minerais homogènes, ou paraissant tels, nous distinguerons ceux qui sont compacts, ceux qui sont pulvérulents, ceux qui sont quartzeux, et ceux qui sont argileux.

Au premier et au second types appartiennent apparemment les seuls minerais véritablement homogènes et les seuls qui constituent une ou deux espèces minérales distinctes.

La Garniérite et la Nouméite, entre lesquelles nous ne savons pas établir pratiquement de distinction, vraisem-

blablement parce qu'elles sont le plus souvent mélangées en proportion quelconque, à supposer qu'elles constituent bien deux espèces distinctes, sont décrites (*) comme des minéraux amorphes, de faible dureté (2 à 3), friables, s'écaillant aisément, ternes ou à éclat gras, de densité 2,87 (Damour), d'une couleur variant du vert pomme au vert pâle et parfois presque au blanc, onctueux au toucher, et happant quelquefois à la langue; ils répondraient, suivant M. Lacroix, à la formule $H^{18}(NiMg)^{8}Si^{7}O^{31}$, où le nickel et la magnésie peuvent s'échanger en toutes proportions; en supposant le rapport $\frac{Ni}{Mg}$ égal à $\frac{3}{5}$, la composition centésimale serait la suivante :

Silice	41,8
Oxyde de nickel	22,2
Magnésie	19,8
Eau	16,2

La teneur maxima en oxyde de nickel pourrait atteindre 48,6 p. 100. Nous donnerons, avec M. Lacroix, les analyses suivantes de sept échantillons provenant de différents points de la Nouvelle-Calédonie :

	1	2	3	4	5	6	7
SiO^2	42,61	35,45	44,40	37,78	38,35	37,49	47,90
NiO	21,91	45,15	38,61	33,91	32,52	29,72	24,00
MgO	18,27	2,47	3,45	10,66	10,61	14,97	12,51
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$	0,89	0,50	1,68	1,57	0,55	0,11	3,00
FeO	»	»	0,43	»	»	»	»
CaO	»	»	1,07	»	»	»	trace
H^2O	15,40	15,55	10,34	15,83	17,97	17,60	12,73
	99,08	99,12	99,98	99,75	100	99,89	100,14

Au microscope, la nouméite présente la structure de la calcédoine avec une disposition sphérolitique plus ou

(*) *The System of Mineralogy*, J. D. Dana, 6e édition, 1892; — et Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, p. 438 et suiv.

moins parfaite; la garniérite se montre crypto-cristalline ou amorphe.

Depuis la découverte de la garniérite en Nouvelle-Calédonie, elle a été rencontrée, dans des gisements tout à fait analogues, dans l'Orégon et dans la Caroline du Nord. Dana donne des minerais du premier de ces gisements, qu'il désigne sous le nom de Genthite, les analyses suivantes :

	1	2	3
SiO^2...........	48,21	40,55	44,73
NiO............	23,88	29,66	27,57
MgO...........	19,90	21,70	10,56
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$..	1,38	1,33	1,18
H^2O............	6,63	7	15,86

La composition de ces minerais diffère donc peu de celle de certains types de la Nouvelle-Calédonie; cependant les échantillons analysés, qui étaient sans doute choisis parmi les plus riches rencontrés, sont notablement moins riches en nickel que plusieurs de ceux provenant de notre colonie.

Ces minerais verts apparaissent tantôt en filonnets remplissant intégralement la largeur d'une cassure ou d'une fente de la péridotite, tantôt en enduits écailleux sur les parois de ces roches, d'autres fois en concrétions plus ou moins mamelonnées et en croûtes très évidemment déposées par les eaux, affectant souvent en particulier la disposition en nids d'abeilles typique des dépôts de sources geysériennes. Ce sont ces minerais qui sont connus comme empâtant parfois des restes d'insectes.

La coloration verte de ces minerais parait varier plus largement encore que ne le mentionnent les descriptions d'échantillons minéralogiques; elle passe du vert pomme vif au vert foncé et même parfois à un vert sombre presque noir, résultant d'une association intime de minerai vert foncé et de minerai brun foncé; d'autres fois, au con-

traire, la couleur s'éclaircit, devient vert d'eau et atteint même le blanc par une suite continue d'intermédiaires de moins en moins riches en nickel; c'est ainsi que, dans les péridotites rocheuses des « grandes crêtes » de la mine Kataviti, nous avons trouvé, au voisinage les uns des autres, plusieurs filonnets dont le remplissage variait insensiblement, souvent dans le même filonnet, depuis la garniérite à haute teneur du vert vif le plus caractéristique jusqu'à un silicate presque parfaitement blanc, ressemblant beaucoup à la stéatite, mais tenant encore 9,5 p. 100 de nickel.

Ajoutons que très souvent des teintes bleu violacé pâle s'associent aux teintes vertes de ces minerais; c'est lorsqu'ils sont constitués par des concrétions empâtant des matières étrangères, lesquelles sont généralement des fragments de péridotite de couleur foncée. Ces teintes sont, comme nous l'avons constaté, dues à des pellicules très minces de garniérite déposées sur les noyaux rocheux de couleur foncée; la coloration verte propre à la garniérite se trouve alors altérée par la translucidité de la matière; mais les pellicules détachées reprennent leur couleur verte et présentent tous les caractères de la garniérite.

Tous les minerais verts sont solubles, difficilement, mais entièrement, dans l'acide chlorhydrique bouillant.

Le minerai « chocolat » se présente surtout en filonnets, s'associant souvent au minerai vert et alternant fréquemment avec lui dans les zones successives d'un même remplissage; il apparait également en enduits ayant une tendance particulière à s'écailler, et plus rarement en concrétions mamelonnées. Dans les échantillons typiques et foncés, il présente un éclat cireux assez vif, d'autres fois il est terne et pourrait aisément se confondre avec des matières ocreuses stériles; mais, frotté avec l'ongle, il reprend son éclat, et c'est là un caractère qui le décèle

avec certitude. Sa couleur varie du brun chocolat foncé au brun jaune clair; il ne présente qu'une dureté de 2 à 3, se polissant souvent à l'ongle ; il est cassant et friable ; sa densité n'est que de 2,48; souvent il présente un aspect bien homogène, mais d'autres fois il a une cassure terreuse, et on constate qu'il empâte de petits grains d'oxyde de fer roulés ou de petits cristaux de fer chromé.

A l'analyse chimique, son inhomogénéité apparaît bien nette, comme l'a constaté M. Moore (*), qui le considère comme un agrégat de garniérite, de stéatite, de quartz, de sesquioxyde de fer et de chromite ; ce chimiste a d'ailleurs signalé que, traité par l'acide chlorhydrique étendu, il laisse dissoudre la majeure partie de son fer et une faible partie seulement du nickel qu'il contient, et qu'il donne lieu à un résidu vert. Nous avons répété cette observation et constaté que, pour du minerai chocolat réduit en poudre fine, la transformation est rapidement complète, tandis que, pour du minerai en fragments, celle-ci ne se produit, sans autre altération d'ailleurs, que sur une faible épaisseur (quelques dixièmes de millimètre) à la périphérie, et ne se propage ensuite à l'intérieur des fragments que fort lentement ; la matière verte ainsi produite présente tous les caractères de la garniérite, comme aspect, comme composition chimique, et même comme propriétés optiques dans les rares fragments qui se montrent cristallins.

Réduits en plaques minces et examinés au microscope, ces minerais conservent une coloration brun rouge, passant au jaune doré dans les plus minces esquilles, mais en ne laissant distinguer qu'un agrégat de fragments amorphes plus ou moins colorés par l'oxyde de fer; c'est du moins ce que l'on observe dans les échantillons d'aspect bien homogène.

(*) *Chemical News*, 1894.

La composition chimique des minerais chocolat varie très sensiblement d'un échantillon à l'autre, comme d'ailleurs leur couleur et leur consistance ; les analyses faites par M. Moore, et que nous reproduisons ci-dessous, montrent entre quelles limites elle oscille généralement; la couleur des échantillons analysés variait du brun chocolat foncé (échantillon n° 1) à l'ocre jaune (échantillon n° 6).

	1	2	3	4	5	6
SiO^3........	33,70	37,05	24,25	34,55	48,25	26,18
Fe^2O^3.......	19,09	16,92	42,50	10,10	18,40	25,17
Al^2O^3.......	1,40	0,63	»	0,21	0,10	»
NiO.........	31,28	17,36	24,58	41,31	24,67	27,61
MgO........	3,22	16,03	»	2,23	»	6,47
MnO........	0,20	Néant	0,17	0,23	»	0,23
CaO........	0,63	0,48	0,12	0,22	0,48	0,18
H^2O........	9,21	10,51	8,48	8,64	7,33	8,64
Fer chromé.	1,20	1,21	0,25	0,20	0,62	4,11

On remarquera que dans tous les échantillons, sauf le numéro 5, la somme des quantités d'oxyde de nickel et de magnésie d'une part, et la quantité de silice d'autre part, sont entre elles dans un rapport correspondant à peu près à la composition de la garniérite ci-dessus indiquée, c'est-à-dire que la quantité de protoxydes est un peu plus forte que celle qui constituerait un bisilicate ; ils sont relativement peu chargés en eau. Il semble donc que les minerais chocolat puissent être considérés comme constitués par de la garniérite, généralement riche en nickel et pauvre en magnésie, qui aurait été comme imbibée de sesquioxyde de fer, lequel ne lui serait pas chimiquement incorporé, puisqu'il peut être dissous sans altérer la garniérite. Au point de vue pratique, les minerais chocolat sont fort intéressants en raison de leur faible teneur en magnésie, compensée par une forte teneur en fer.

Comme minerais pulvérulents, nous n'avons recueilli que des échantillons verts ; les minerais pulvérulents d'autres couleurs, s'il en existe, échappent à l'observation, mélangés qu'ils sont aux matières terreuses complexes de même coloration, qui accompagnent généralement les gisements de nickel : nous avons trouvé des échantillons de ces poudres vertes dans les interstices de blocs altérés de serpentine au milieu des magmas complexes qui sont exploités pour nickel; souvent ces échantillons étaient associés à des fragments menus de garniérite et de silicates magnésiens divers; mais parfois ils se présentaient seuls. Nous en avons recueilli de petites quantités à la mine Young Australia dans la vallée de la rivière Comboui, à la mine Union à Canala, et aux carrières Pierrette de la mine Reis n° 2 à Népoui. Un échantillon, particulièrement homogène et pur, de cette dernière mine se montrait constitué par une poudre nettement cristalline, ayant des propriétés optiques parfaitement définies et voisines de celles de certaines chlorites; il était d'une couleur d'un vert clair cendré, et avait la composition chimique suivante :

Silice...............	34,2	
Protoxyde de nickel.	44,7	
Magnésie............	3,4	
Alumine............	4	
Sesquioxyde de fer..	0,5	
Chaux..............	0,6	
Perte au feu (eau)...	12,3	après dessiccation légère préalable

Cette composition se rapproche assez de la formule donnée par M. Lacroix pour la garniérite, mais avec absence presque complète de magnésie ; elle diffère peu de celle qu'indique l'analyse n° 2 que nous avons rapportée ci-dessus (p. 368); mais les propriétés optiques de ce minéral sont nettement différentes de celles de la garniérite, ce qui ferait supposer qu'il s'agit là d'une espèce nouvelle,

qui paraît d'ailleurs suffisamment rare pour ne présenter qu'un intérêt purement minéralogique.

Les minerais que nous séparons sous le nom de minerais quartzeux sont ceux qui se présentent sous la forme de rognons ou de concrétions au toucher rugueux, avec une cassure à éclat souvent cristallin, et avec une dureté de 7, tous caractères qui en font plutôt des quartz colorés par le nickel que des minerais de nickel; ils sont d'ailleurs généralement assez pauvres, et d'autant plus décevants pour le mineur que le quartz se colore vivement en vert pour des teneurs en nickel relativement très faibles. Ces échantillons constituent souvent ce qu'on appelle des minerais « peints ». L'un d'eux, d'une coloration tout aussi foncée que les meilleures garniérites, et qui provenait du massif du Koungouhaou, nous a donné à l'analyse la composition suivante :

Silice	66,6
Sesquioxyde de fer et alumine	3,6
Magnésie	8,54
Oxyde de nickel	12,00
Eau	8,8

ce qui correspond à une teneur en nickel de 9,4 p. 100.

Nous qualifions argileux des minerais qui devraient plutôt être désignés sous le nom de minerais plastiques, en raison de leur état physique : ils constituent en effet une pâte inconsistante, grasse au toucher, plastique, et absorbant facilement l'humidité. Ils sont parfois talqueux, se montrant plus ou moins nettement constitués d'une infinité de petites paillettes analogues au talc; d'autres fois ils forment une pâte paraissant bien homogène à l'œil nu. Leur coloration est toujours claire à sec, variant du vert pâle au vert d'eau presque blanc ; mais ils verdissent à l'humidité; leur teneur est néanmoins souvent élevée;

c'est d'ailleurs un fait constant qu'une même proportion de nickel communique à un minerai pauvre en silice et relativement riche en magnésie et alumine, une coloration verte incomparablement moins intense qu'à un minerai siliceux. Nous avons ramassé de tels échantillons, mais généralement dans des poches d'étendue restreinte, dans plusieurs mines.

L'un d'eux, qui provenait des carrières Hélène à Népoui, était à sec d'un vert d'eau pâle à peine plus coloré que l'échantillon à aspect de stéatite qui tenait 9,5 p. 100 de nickel ci-dessus cité (p. 370), et beaucoup plus clair que l'échantillon quartzeux que nous venons de mentionner ; il indiquait à l'analyse la composition suivante :

Silice..................	34,8
Sesquioxyde de fer......	1,9
Alumine................	3,2
Magnésie...............	4,19
Oxyde de nickel.........	42,1
Eau....................	13,18

Cet échantillon était d'ailleurs presque uniquement constitué de plaquettes microscopiques de garniérite, liées par une petite quantité d'une pâte blanchâtre magnésienne et alumineuse ; en dissolvant cette pâte dans un peu d'acide chlorhydrique très étendu, on faisait apparaître très nettement la coloration vert vif de la garniérite, dont le microscope distinguait alors aisément les fragments accompagnés d'un peu des poudres vertes que nous avons signalées ci-dessus.

D'autres échantillons à aspect argileux, connus comme moins riches en nickel, paraissent de même être composés d'une pâte argileuse et magnésienne englobant les paillettes de minerais plus ou moins riches. Il n'y a donc dans ces minerais argileux rien de spécial au point de vue minéralogique.

Les masses inhomogènes minéralisées par le nickel, qui constituent ce que l'on exploite pratiquement et couramment, peuvent être rattachées à quatre types principaux, dont la distinction est souvent encore plus difficile à faire, lorsqu'on se trouve en face des gisements, que celle des différents types de minerais que nous venons d'indiquer.

Les types que nous distinguerons, et que nous allons essayer de caractériser, sont : les masses à caractère filonien, les masses bréchoïdes, les masses de serpentine altérée imprégnée de nickel, et enfin les terres nickelifères.

Les masses filoniennes se rencontrent généralement au milieu de péridotites plus ou moins serpentinisées, mais de caractère rocheux encore bien net, dans lesquelles s'ouvrent des cassures minéralisées ; ces cassures, d'épaisseurs très variables, et dont nous chercherons ultérieurement à préciser la nature géologique, sont souvent suffisamment minces pour être entièrement remplies d'une seule veinule de minerai vert ou de minerai chocolat ; d'autres fois elles sont un peu plus larges et comprennent plusieurs zones de minerais de couleurs variées dans les teintes vertes, bleuâtres ou brunes ; parfois enfin leur largeur est telle qu'elles contiennent non seulement ces minerais, mais encore, empâtés par eux, des fragments bréchoïdes de la roche encaissante ; fréquemment, lorsque la cassure est large, elle n'est pas entièrement remplie, et les vides qui y subsistent sont tapissés de ces concrétions de minerai vert dont nous avons signalé déjà le caractère très net de dépôts de solutions. Mais généralement la minéralisation ne se limite pas à un nombre plus ou moins grand de telles cassures : tout d'abord celles-ci se ramifient très souvent par des cassures transversales également envahies de silicates de nickel,

et ensuite la péridotite elle-même est imprégnée de nickel sur une épaisseur plus ou moins grande à partir des bords de la fente. Tantôt la surface de la roche a subi ce craquellement en damier dont nous avons déjà signalé la facilité, et la roche s'est trouvée comme incrustée d'un réseau vert, qui suffit à lui donner sur une certaine épaisseur une teneur en nickel de plusieurs unités pour cent; d'autres fois les lèvres de la cassure sont entièrement transformées en une matière qui a l'éclat et la couleur vert foncé d'une serpentine noble, mais qui contient également du nickel en plus ou moins forte proportion : suivant l'importance de cette pénétration du nickel dans les roches on est amené à considérer comme minerai une plus ou moins grande portion de celles-ci. Lorsque les cassures qui s'y ramifient sont suffisamment nombreuses et suffisamment larges, la masse tout entière de la roche peut être bonne à exploiter; d'autres fois, des différents morceaux de péridotite que séparent ces cassures disposées en tous sens, le noyau seul est stérile, tandis que toute la périphérie est bonne à fondre. Quelquefois, au contraire, on a affaire à une cassure plus nette et plus large dont on n'exploitera que le remplissage et, sur quelques décimètres, les épontes plus ou moins bien définies. La minéralisation des cassures larges et franches a généralement une certaine permanence en direction et en profondeur; celle des réseaux de cassures minces n'est, au contraire, riche, tant par l'abondance des cassures que par la nature même du remplissage, qu'au voisinage immédiat de la surface actuelle du sol. L'ensemble des blocs de péridotite sillonnés par ces cassures et des matières qui les remplissent constitue ce que l'on appelle couramment des « minerais de blocage ».

Lorsqu'on examine au microscope ce type de minerais rocheux, on constate un mode d'altération de la péridotite peu différent de la serpentinisation habituelle; les grains

de péridot se montrent craquelés et envahis d'un réseau de produits secondaires; mais ici ce réseau, au lieu d'être constitué par de la serpentine offrant généralement une cristallisation confuse, est rempli d'une matière qui, en lumière naturelle, se montre d'un vert jaune clair, et qui, en lumière polarisée, paraît complètement amorphe : c'est vraisemblablement de la garniérite; on y voit également des facules brunes opaques et amorphes, qui sont sans doute du minerai chocolat.

Au point de vue chimique, ces minerais offrent la composition d'une péridotite plus ou moins serpentinisée, c'est-à-dire qu'ils contiennent en gros de 10 à 15 p. 100 d'eau, 40 p. 100 de silice, 5 à 10 p. 100 de sesquioxyde de fer et 35 à 40 p. 100 de magnésie, cette composition étant modifiée par l'addition d'une plus ou moins grande quantité des minerais de nickel dont nous avons indiqué ci-dessus la composition; ces minerais filoniens sont donc très magnésiens et peu ferreux.

Les masses bréchoïdes se rencontrent parfois, à côté des masses filoniennes, dans les cassures importantes de la péridotite, mais elles se présentent surtout au voisinage de la surface, remplissant les intervalles que laissent entre eux les blocs démantelés de la roche. Dans ces masses on rencontre non seulement tous les types de minerais que nous avons essayé de définir ci-dessus, mais encore une série de matières stériles : ici certains blocs sont recouverts d'une pellicule ou d'une croûte de silicate vert et sont partiellement injectés de nickel à leur périphérie, ainsi que nous l'avons dit; là il s'ouvre dans la masse une sorte de cheminée plus ou moins voisine de la verticale, offrant un certain espace vide dont les parois sont tapissées, et le vide souvent obstrué, par des concrétions de silicate de nickel vert foncé tirant souvent sur le noir, ou par de belles plaquettes

de nickel chocolat, tous minerais généralement très riches. Plus loin, au contraire, se trouvent une série de fragments de péridotite très altérée, ayant perdu presque complètement sa consistance et ayant pris une couleur jaunâtre due en grande partie à l'oxyde de fer; ces fragments peuvent se trouver suffisamment imprégnés de nickel pour être utilisables; ils le sont entièrement s'ils ne sont pas trop gros, tandis que, s'ils sont plus volumineux, on trouve au milieu un noyau de péridotite plus ou moins serpentinisée, mais encore dur, et stérile. Le tout est noyé dans des formations argileuses et magnésiennes, dont les unes ne sont que des portions de l'argile rouge superficielle qui s'est enfoncée entre les blocs de roche et qui présente parfois une teneur de 2 à 3 p. 100 de nickel, et dont les autres sont plus jaunâtres et souvent assez riches; à côté se développent des lits magnésiens blancs à consistance argileuse dont quelques portions sont plus ou moins verdies et parfois très riches; plus loin on rencontre éventuellement de petites poches de ces minerais pulvérulents verts que nous avons mentionnés.

L'ensemble constitue un magma dont on peut, en éliminant les blocs de péridotite encore durs et rocheux et certaines de ces traînées argileuses que l'expérience a montré être stériles, retirer une proportion importante de minerai marchand; on passe d'ailleurs des fragments considérés comme bons aux fragments stériles par tous les intermédiaires. Quant à la continuité des gisements, l'expérience montre toujours qu'elle est faible, et qu'en s'éloignant de la surface on tombe sur des masses où la magnésie tend à remplacer le nickel; plus profondément on trouverait sans doute la péridotite compacte et stérile.

Des masses de serpentine altérée et imprégnée de nickel se développent parfois en traînées ou en noyaux à côté ou au milieu des formations bréchoïdes dont nous

venons de parler. Le type le plus fréquent de ces minerais se rencontre dans la partie septentrionale de la côte Ouest : ce sont des roches ayant perdu toute dureté, mais demeurées cependant agrégées ; elles se rompent à la main avec un bruit sec et se coupent au couteau en donnant le plus souvent une trace brillante ; leur couleur varie du gris jaunâtre au gris verdâtre et quelquefois jusqu'au rose ; à l'œil nu elles paraissent souvent assez homogènes ; parfois elles sont mouchetées ou zébrées de points ou de lignes noirâtres, bleuâtres, ou verdâtres ; leur densité est faible et leurs caractères extérieurs ne les distinguent en rien de certains types de serpentines amorphes ayant perdu la consistance rocheuse ; ce n'est absolument que l'analyse qui apprend, dans chaque gisement, que telle apparence de ces roches décomposées correspond à une teneur de 5, 6, 8, 10 p. 100 et exceptionnellement 15 et 20 p. 100 de nickel ; cependant l'attaque par l'acide chlorhydrique faible d'un fragment paraissant homogène fait apparaître à sa surface un réseau de filonnets verts de garniérite.

Un échantillon riche de ce type donnait l'analyse suivante

Silice et inattaqué	35,24
Sesquioxyde de fer et alumine	10,82
Magnésie	13,82
Oxyde de nickel	21
Eau	18,5
Teneur en nickel après dessiccation (qui élimine sensiblement la moitié de l'eau).	18,3 p. 100

Le résidu inattaqué par l'acide chlorhydrique était constitué, outre la silice, par du fer chromé et par quelques petites baguettes d'enstatite. Comme on le voit, la composition d'une semblable matière diffère peu de celle d'une roche serpentinisée ordinaire, sous réserve de la substitution du nickel à la magnésie.

D'autres types de serpentine altérée sont moins trom-

peurs, ce sont ceux qui s'observent presque uniquement, mais d'une façon particulièrement abondante, sur la côte orientale au voisinage de Poro : la roche qu'elles remplacent paraît avoir été, tout comme celles auxquelles sont associées les autres masses nickelifères que nous avons décrites, un type très commun de péridotite à enstatite, roche à pâte grenue vert jaunâtre avec cristaux d'enstatite.

Cette roche s'est, comme nous l'avons déjà mentionné, trouvée divisée en éléments généralement parallélipipédiques par un réseau de cassures; mais ces cassures, au lieu de se remplir, comme cela arrive le plus fréquemment, de cloisons de quartz, se trouvent ici occupées par des plaquettes de silicate nickelifère vert; en même temps sans doute que se déposaient ces enduits, la roche elle-même était altérée; elle se transformait en une masse jaune brunâtre de peu de consistance dont les péridots sont entièrement remplacés par une matière désagrégée, qui semble colorée principalement par de la rouille, et dont les pyroxènes, également oxydés, ne se manifestent plus que par les clivages qui séparent les lamelles, jaunies par l'oxyde de fer hydraté, auxquelles ils ont donné naissance. Ainsi sont intégralement transformés les fragments découpés d'une façon menue par les cassures, tandis que les fragments dont les dimensions atteignent une dizaine de centimètres présentent un noyau de péridotite encore fraîche ; la teneur en nickel paraît y varier progressivement de la périphérie vers le centre.

Pratiquement, et sauf exceptions, tout ce qui est friable est suffisamment riche pour être considéré comme minerai, tout ce qui est resté dur et compact est tenu pour stérile ; nous donnerons ci-après, notamment au sujet de la mine Mécorouma (deuxième partie, chap. II, A, *in fine*), quelques indications sur les teneurs des différents éléments qui constituent ces masses minéralisées.

Ces minerais exceptionnels sont parfois associés à des dunites assez riches en nickel ; mais ils n'en dérivent pas, comme le prouvent les petits cristaux d'enstatite, qui se décèlent pas leur clivage brillant, non seulement dans les noyaux encore frais, mais encore dans les croûtes altérées jaunes, où ils sont eux-mêmes plus ou moins pénétrés d'oxyde de fer.

Les masses que nous désignons sous le nom de masses terreuses échappent pour ainsi dire à toute description : ce sont des poudres essentiellement inhomogènes, à aspect plus ou moins terreux ou argileux, généralement colorées en rouge jaunâtre ou brunâtre, qui n'ont rien du tout de l'aspect homogène et bien défini des minerais en poudre que nous avons décrits ci-dessus, qui sont amorphes, et qui ne présentent aucune couleur caractéristique. On a seulement constaté ici ou là que tel aspect de terre correspond à une teneur en nickel suffisante, soit pour constituer un minerai utilisable par lui-même, soit pour pouvoir être pris avec le reste un peu plus riche : ici ce sont des terres rouges assez riches, d'aspect tout à fait analogue aux argiles rouges de la puissante formation stérile que nous avons décrite ; là ce sont des terres plus brunes ou plus jaunes, de même richesse ou à peu près ; plus loin elles sont mouchetées de points verts donnant à la masse un aspect spécial et attirant naturellement l'attention. Ces terres, lorsqu'elles se rencontrent, s'associent aux autres minerais pour les recouvrir, ou quelquefois pour les empâter et pour concourir avec eux au remplissage des intervalles de blocs rocheux. Ce n'est guère que l'analyse chimique qui peut faire reconnaître si des terres de ce genre sont riches ou stériles ; néanmoins on a souvent observé que celles qui « ont du grain », c'est-à-dire qui, écrasées entre les doigts, font sentir de petits grains anguleux, sont souvent riches (les grains

anguleux étant pour une part des fragments de garniérite qu'un lavage à l'acide chlorhydrique faible permet souvent de voir à l'œil nu); d'autre part, celles d'entre les terres qui n'absorbent pas trop aisément l'eau sont souvent plus riches que celles qui se montrent trop humides au chantier.

Il nous reste à dire quelques mots des produits qui sont livrés pratiquement par les mines : on n'exploite guère aujourd'hui, et les exploitants ne trouvent à vendre, que des minerais dont la teneur en nickel métallique atteint au moins 7 p. 100 après dessiccation à 100 degrés (c'est toujours après une telle dessiccation que l'on évalue la teneur, et, lorsque nous indiquerons dans la suite des teneurs de minerais, ce sera toujours dans ces conditions qu'elles seront calculées); comme les minerais tiennent couramment de 20 à 30 p. 100 d'humidité, même lorsqu'ils sont rocheux, et plus lorsqu'ils sont particulièrement terreux, la teneur réelle des matières exportées ne dépasse pas en moyenne 5 1/4 à 5 1/2 p. 100. Cependant on descend quelquefois au-dessous de cette limite de 7 p. 100, à laquelle il est difficile de se maintenir dans certains gisements, quitte à compenser la teneur un peu faible des minerais obtenus par celle de minerais plus riches exploités sur une mine voisine. L'exploitation de Népoui a même expédié récemment en Amérique des chargements à teneur de 6 et 6 1/2 p. 100 seulement, et cela n'a rien qui doive surprendre, puisque, comme nous l'indiquerons ci-après plus en détail, la teneur de 7 p. 100 n'est nullement fixée par les exigences de la métallurgie, mais simplement par les dépenses exagérées qu'occasionnerait le transport à trop longue distance de masses tenant pratiquement moins de 5 p. 100 de nickel.

Dès lors, dans les mines, la préoccupation constante doit être de constituer, avec les matières extrêmement

diverses et de richesse très variable que l'on rencontre, un minerai dont la teneur atteigne cette limite de 7 p. 100; et on n'y parvient qu'à l'aide d'un échantillonnage soigné des différentes catégories de matières dont on fait très fréquemment l'analyse chimique. On est ainsi amené à distinguer les minerais « d'enrichissement » dont la teneur dépasse notablement 7 p. 100, les minerais « payants » dont la teneur varie de 7 à 7 1/2 p. 100, et les minerais pauvres à teneur inférieure à 7 p. 100, que l'on ne peut vendre que grâce à l'addition d'une quantité suffisante de minerais d'enrichissement.

Les masses ainsi constituées sont généralement soit en petits morceaux, soit pulvérulentes, d'aspect plus ou moins terreux, d'un jaune rougeâtre clair, et c'est à peine si l'on y distingue des fragments verts pouvant faire supposer à celui qui n'est pas prévenu que c'est là du minerai de nickel; ces masses prennent très facilement l'humidité, et en conservent toujours une quantité importante, car elles sont toujours quelque peu argileuses.

L'analyse globale de ces minerais est à peu près la suivante, après dessiccation :

Silice	42
Magnésie	22
Chaux	0,1
Alumine	1
Sesquioxyde de fer	15
Oxyde de nickel	9
Oxyde de cobalt	0,15
Oxyde de manganèse	0,7
Sesquioxyde de chrome	traces
Eau combinée	10

La valeur d'un tel minerai sur place, ou du moins le prix auquel il est payé à ceux qui l'exploitent, variait, au moment de notre séjour, entre 60 et 70 centimes par chaque kilogramme de métal contenu, ce qui donne pour

le minerai sec à 7 p. 100 une valeur de 42 à 49 francs la tonne ; la valeur du minerai humide, variable avec son degré d'humidité, oscillait entre 30 et 40 francs, et était en moyenne de 35 francs.

Les derniers marchés passés l'avaient été au prix de :

0f,625 par kilogramme de métal contenu pour les minerais tenant de......................	7 à 7 1/2 p. 100
0f,675 par kilogramme de métal contenu pour les minerais tenant de......................	7 1/2 à 8 p. 100
0f,725 par kilogramme de métal contenu pour les minerais tenant	8 p. 100 et plus

Ces prix marquent d'ailleurs une légère baisse sur ceux qui avaient été pratiqués en 1901, et ils ont encore eu une tendance à baisser depuis.

Nous ne donnerons pas ici plus de détails sur les différents types de minerais de nickel, devant être amené à en ajouter quelques-uns en décrivant un certain nombre de gisements pris comme types parmi ceux que nous avons visités. Avant de passer à cette description et de faire connaître l'état actuel de l'exploitation du nickel, nous croyons utile de donner encore quelques indications d'ensemble sur l'historique de son développement dans la colonie, nous réservant au contraire de présenter après cette description quelques considérations sur le mode de formation possible de ces gisements et les chances de continuité qu'ils peuvent offrir au delà de ce qui est connu.

C. — Historique sommaire du développement de l'exploitation du nickel en Nouvelle-Calédonie.

Signalés pour la première fois par M. Garnier en 1865, les minerais de nickel ne furent connus en Nouvelle-Calédonie qu'à titre d'échantillons minéralogiques jusqu'en 1874 ; on ne les avait observés en effet jusque-là

qu'à l'état d'enduits peu épais sur les quartz ou les serp tines, sans reconnaître aucune continuité dans leur f mation. A la fin de 1874, « on rencontra pour la premiè fois en Nouvelle-Calédonie le silicate de nickel en fil régulier constituant un gisement bien défini et susceptil d'être exploité », ainsi que le rapporte M. Heurteau (*), pe dant le séjour duquel eut lieu cette découverte ; ap examen de ce gisement, cet ingénieur envisageait la p sibilité d'en extraire un minerai qui, par triage, pourr être aisément amené à une teneur moyenne d'envi 7 à 8 p. 100, ce qui aurait encore été, dit-il, « un mag fique produit », en raison de la valeur du nickel à l'époq il indiquait en effet qu'un tel minerai trouverait achet en France à raison de 100 francs par tonne et par 1 p. 100 nickel donné par l'analyse. M. Heurteau ajoutait dans rapport de 1876 (**) que, depuis la découverte de ce p mier filon, de nouvelles découvertes de minerai de nic avaient été annoncées en un grand nombre de points la colonie, tant au voisinage de Nouméa, dans le mas du mont Dore et dans la vallée de la Dumbéa, que le long la côte Est, sur les territoires de Canala et de Houaïlou faisait en outre connaître qu'à la fin de 1875 quelques c taines de tonnes de minerai riche avaient été extrai de la mine Bel-Air à Houaïlou, ainsi que d'un filon d à 2 mètres de puissance rencontré sur les concessi Mamouth et Boa-Kaine à Canala.

Une fois l'attention appelée sur les caractères du mi rai de nickel, dont ceux qui circulaient dans la colonie pouvaient éventuellement rencontrer des affleureme nickelifères n'avaient jusque-là aucune connaissance, qu'ils prenaient quelquefois pour des indices cuivreux, découvertes se multiplièrent rapidement ; de même, à voi

(*) *Loc. cit.*, p. 392.
(**) *Loc. cit.*, p. 396 à 398.

succès des premières tentatives d'exploitation, beaucoup de gens furent tentés d'en entreprendre aussi en différents points de la colonie. C'est ainsi que furent ouvertes coup sur coup diverses exploitations, d'abord celle de la mine Boa-Kaine à Canala, au cours de laquelle on dépensa sans compter, se croyant en possession d'un trésor inépuisable, et celle de la mine Bel-Air à Houaïlou, puis peu de temps après celles du Plateau de Thio, de la mine Bienvenue à Nakety, du mont Dore, et enfin de différentes mines plus éphémères sur la côte Ouest, entre la Dumbéa et Saint-Vincent.

Entreprises par des mineurs australiens, ou à l'aide de mineurs australiens, habitués à poursuivre souterrainement les filons aurifères ou cuprifères, ces exploitations donnèrent lieu à des travaux par galeries souterraines assez étendus, en même temps que des travaux de recherches étaient poursuivis par la même voie sur nombre d'autres points; on en retrouve encore aujourd'hui les traces dans bien des gisements. C'est l'époque où l'on ne recherchait que les minerais verts et où, préoccupé surtout d'expédier en Europe des minerais riches (d'une teneur de 12 à 14 p. 100), on est allé jusqu'à essayer une préparation mécanique que la faible différence de densité entre la roche encaissante et le minerai et la grande friabilité de celui-ci rendaient pratiquement illusoire.

C'est dans ces conditions qu'à la fin de 1875, en 1876 et en 1877, il a été exporté, soit à destination de l'Australie, soit surtout à destination du Havre, 8.000 tonnes environ de minerais de nickel à 10 ou 12 p. 100, qui valaient un bon nombre de centaines de francs la tonne; en 1878-1879 l'insurrection canaque arrêta presque complètement les exploitations.

Cependant, trouvant déjà trop onéreux les frais de transport en Europe, qui étaient d'une centaine de francs par tonne pour un minerai qui en valait plusieurs centaines,

on se décidait à installer à Nouméa une usine de première fusion du minerai de nickel ; cette usine, qui a fonctionné de la fin de 1879 au début de 1885, aurait exporté près de 4.000 tonnes de fontes ou mattes de nickel, obtenues avec des minerais extraits pour une moitié environ des mines du Plateau de Thio et pour 1/4 de chacune des deux mines de Bel-Air à Houaïlou et de la Boa-Kaine à Canala. Il était d'autre part exporté au cours de ces six années quelques milliers de tonnes de minerai cru provenant de différentes exploitations entreprises en une série de points de la colonie.

Ce n'étaient jusque-là que les minerais très riches, uniquement les minerais verts d'abord, puis aussi les minerais chocolat que l'on avait appris à connaître ensuite, qui étaient exploités dans ces mines.

La valeur du métal baissait de plus en plus à mesure que la production se développait ; elle était tombée à 8 francs le kilogramme dès la fin de 1881 et à 6 francs en fin 1884. D'ailleurs la production, qui était de 400 tonnes par an pour le monde entier avant la découverte des gisements calédoniens, s'était trouvée plus que doublée au cours des quelques dernières années, et avait vite dépassé les besoins de la consommation.

Aussi, dès la fin de 1884, les stocks de minerai s'étant accumulés en Nouvelle-Calédonie, aussi bien que le métal en Europe, la demande de nickel baissait au point d'entraîner l'arrêt de la plupart des exploitations, dont la production s'était développée plus vite que la consommation du métal ; les hauts fourneaux de Nouméa durent être éteints au début de 1885.

Les exportations, déjà très faibles en 1885, s'abaissaient à 920 tonnes de minerai en 1886 ; il n'était, d'autre part, plus exporté de mattes ; les cours des minerais étaient en même temps tombés au point qu'à cette époque les minerais à 10 p. 100, qui valaient, dix ans auparavant,

un millier de francs la tonne, n'étaient déjà plus payés sur place que 200 francs.

Cependant, les usages du nickel se multipliant, les exploitations ne tardèrent pas à être reprises avec une certaine activité, non seulement sur les gisements qui avaient déjà été exploités, mais encore sur de nouveaux; des mines furent alors ouvertes tout le long de la côte occidentale entre Nouméa et Tomo, et même plus au Nord, comme la mine Kataviti près de Koné, et celles de la côte Est, réparties primitivement de Houaïlou à Thio, s'étendirent jusqu'à Brindy. Les conditions économiques de l'exploitation commençaient également à se transformer, et les teneurs auxquelles les minerais étaient exportés descendaient aux environs de 7 à 8 p. 100, tandis que leur prix s'abaissait à 125 francs la tonne, soit 1 fr. 50 à 1 fr. 60 par kilogramme de métal contenu, contre 2 francs en 1885 et 10 francs en 1876. Une nouvelle ère de prospérité s'ouvrait, dans ces conditions nouvelles, pour l'exploitation des mines de nickel, et l'exportation passait rapidement de 10.000 tonnes à 20.000 tonnes, puis à 50.000 tonnes par an; cela représentait une consommation annuelle atteignant jusqu'à 3.000 tonnes de nickel, consommation rendue possible par l'extension des débouchés qui lui étaient assurés autrefois et par l'ouverture de nouveaux débouchés grâce aux premiers emplois des aciers au nickel. Ce fut l'époque d'une nouvelle tentative en vue de la fusion du nickel sur place à l'usine établie à Ouroué près de Thio.

Cette prospérité de quelques années fut brusquement enrayée par la concurrence que les producteurs de nickel du Canada ne tardèrent pas à faire au nickel de la Nouvelle-Calédonie, sitôt les importants gisements de pyrrothine nickelifère du district de Sudbury mis en exploitation. Si les exportations n'ont pas, suivant les chiffres de la statistique officielle (que nous reproduisons ci-après

deuxième partie, chap. IV, *B*), baissé dans une très large mesure pendant la période de crise, puisqu'elles ne sont pas descendues au-dessous de 37.000 tonnes (1896), du moins l'extraction, qui avait été poussée au delà même des demandes en 1890-1892, a-t-elle dû être réduite au point d'être presque complètement arrêtée en 1896 (extraction 6.417 tonnes). En même temps la valeur du nickel en Europe et en Amérique baissait très sensiblement, et, comme les prix du fret et du traitement étaient susceptibles de peu de variation, cette baisse se faisait sentir d'une façon particulièrement lourde sur le prix d'achat du minerai sur place : de 125 francs en 1888, il était déjà tombé à 80 francs au début de la crise, et descendait jusqu'à 35 francs en 1897 (minerai à 7 p. 100), ce qui ne représente plus que 0 fr. 50 par kilogramme de métal.

Cependant une régularisation de l'extraction au Canada, correspondant à une entente pour le maintien des cours, permettait la reprise régulière des exportations, et par suite aussi des extractions en Nouvelle-Calédonie, en même temps que la valeur du minerai sur place se relevait de 35 à 50 francs environ. Les exportations n'ont plus dès lors subi qu'une ascension continue jusqu'en 1902, puisqu'elles ont été, au cours des dernières années, les suivantes, d'après la statistique officielle :

1896	37.467 tonnes
1897	57.639 —
1898	74.614 —
1899	103.908 —
1900	100.319 —
1901	133.676 —
1902	129.653 —

Il est vraisemblable qu'en raison de la crise métallurgique qui sévit en Europe et de la restriction correspondante des demandes de nickel, qui ont déjà, en 1902

arrêté la progression des exportations, celles de 1903 seront inférieures à celles des deux années précédentes.

L'augmentation de la production des dernières années, qui n'avait d'ailleurs pas été accompagnée comme précédemment d'une réduction de la teneur des minerais, limitée aujourd'hui d'une façon assez impérative par le prix du fret, a été acquise non seulement grâce au développement de ceux des anciens centres de production qui subsistent encore, c'est-à-dire ceux de Thio, Canala, Kouaoua, et Koné, et aussi dans une faible mesure ceux du voisinage de Nouméa, mais encore par la création de centres nouveaux ; ces centres se sont multipliés surtout sur la côte Ouest, où les silicates verts et le minerai chocolat sont relativement rares, mais où les masses nickelifères bréchoïdes et les serpentines altérées nickelifères, qui sont abondantes, ont, depuis une dizaine d'années, été reconnues pour être exploitables souvent avec plus de profit que les minerais recherchés autrefois. Le plus considérable des centres ainsi créés fut celui de Népoui ; mais, en outre nombre de mines, jalonnant la côte Ouest depuis le mont Kaala jusqu'à Népoui, se sont ouvertes peu à peu ; d'autre part, un groupe important d'exploitations a été créé sur les gîtes assez spéciaux de Poro ; enfin les gisements de minerai riche, mais peu accessibles, du Sud de la côte Est ont été exploités avec une activité croissante.

La production de l'année 1901 s'est, dans ces conditions, répartie comme suit entre les différentes mines ou les différents groupes de mines.

		Tonnes.
Côte Ouest	Mine Etoile du Nord à Koumac	500
	Mine Nouvelle-Espérance au mont Ouazangou.	18.000
	Mine Kataviti à Koné	13.669
	Mines de Népoui	36.985
	Mine des Barbouilleurs à la Dumbéa	3.613
Côte Est	Mines Française et Fathma à Poro	9.699
	Mines de Kouaoua	3.390
	Mines de Canala	5 800
	Mines de Thio	41.900
	Mine Bienvenue à Nakety	120
		133.676

Au début de 1902, l'exploitation de la mine Bienvenue à Nakety était suspendue ; mais il avait été ouvert de nouvelles exploitations sur la mine Kaala près de Gomen, sur la mine Révélation à Voh, sur la mine Paragraphe à Poro, sur les mines Paulat à la baie Ouango, sur la mine Prise de Rivoa auprès de la rivière To-N'Deu, et sur les mines les Roches et Puy-de-Dôme à Kouakoué.

Nous avons indiqué ci-dessus quels sont les prix auxquels le minerai était acheté sur place au moment de notre séjour, soit environ 35 francs par tonne de minerai humide. Depuis lors les cours ont baissé, et certaines exploitations ont dû être ralenties.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

BULLETIN.

PRODUCTION DU PLOMB, DU CUIVRE, DU ZINC, DE L'ÉTAIN, DU NICKEL, DE L'ALUMINIUM ET DU DANS LE MONDE EN 1900 ET 1901.

PRODUCTION DU PLOMB BRUT EN 1900 ET 1901 (*)

	1900	
	ton. mét.	to
Allemagne	121.500	1
Espagne	154.500	1
Grande-Bretagne	35.500	
Italie	23.800	
Grèce	16.800	
Belgique	16.400	
Autriche-Hongrie	*12.700*	
France	15.200	
Autres pays d'Europe	*4.500*	
États-Unis	251.000	2
Mexique	90.500	
Canada	19.200	
Australie	67.000	
Amérique du Sud	3.000	
Totaux	831.600	8

(*) Les nombres en italiques sont donnés, au moins pour estimation.

Pour les années 1890 à 1895, voir les *Annales des Mines* de 1897, page 350 ; pour l'année 1897, voir le 2e volume de 189 et Pour les années 1898 et 1899, voir le 1er volume de 1901, p

PRODUCTION DU CUIVRE BRUT EN 1900 ET 1901.

	1900	1901
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne	30.929	31.376
Grande-Bretagne	80.000	80.000
France	6.400	7.000
Autriche-Hongrie	1.200	1.350
Italie	2.797	3.000
Russie	*8.100*	*8.100*
Autres États d'Europe	2.500	3.200
Importation en Europe.		
Du Japon	19.300	20.900
D'Australie	17.400	19.900
D'Amérique (*)	182.600	128.900
Production de ou pour l'Europe	351.226	303.726
Production des États-Unis, non compris l'exportation (**)	123.500	188.300
Japon (consommation en Asie) (***)	10.100	8.000
Production totale	484.826	500.026

PRODUCTION DU ZINC BRUT EN 1900 ET 1901.

	1900	1901
	ton. mét.	ton. mét.
États allemands de l'ouest, Belgique, Hollande	189.301	202.474
Silésie	102.316	108.087
Grande-Bretagne	30.307	29.657
France et Espagne	31.110	27.701
Autriche et Italie	7.087	7.823
Russie	5.969	6.030
États-Unis	112.233	124.795
Production totale	478.323	506.567

(*) Chili et autres États de l'Amérique du Sud, États-Unis, Mexiq colonies anglaises du nord de l'Amérique.

(**) Production des États-Unis : 1900, 273.000 tonnes; 1901, 271.000 ton

(***) Quantités auxquelles il y a lieu, pour avoir la production ré de ce pays, d'ajouter l'importation en Europe précédemment indiqu

PRODUCTION DE L'ÉTAIN EN 1900 ET 1901.

	1900	1901
	ton. mét.	ton. mét.
Angleterre	4.336	4.267
Expéditions des Détroits en Europe et en Amérique.	46.807	50.724
Expéditions d'Australie	3.229	3.398
Vente Banka en Hollande	12.009	15.218
Vente Billiton en Hollande et à Java	5.913	4.457
Importation de Bolivie en Europe	7.048	8.128
Production totale	79.342	86.192

PRODUCTION DU NICKEL EN 1900 ET 1901.

	1900	1901
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne (*)	1.376	1.600
États-Unis et Canada	*3.000*	*3.600*
Nouvelle-Calédonie (**)	3.150	3.400
Production totale	7.526	8.600

PRODUCTION DE L'ALUMINIUM EN 1900 ET 1901.

	1900	1901
	kilogr.	kilogr.
Suisse	*2.500.000*	*2.500.000*
Angleterre	560.000	560.000
France	1.026.000	1.200.000
États-Unis	3.250.000	3.250.000
Production totale	7.336.000	7.510.000

(*) Production de la Prusse seulement, à laquelle il y aurait lie d'ajouter le nickel produit dans le royaume de Saxe.

(**) Cette production est obtenue en France et en Angleterre au moye des minerais de la Nouvelle-Calédonie. Elle ne comprend pas l'impo tation des minerais de la Nouvelle-Calédonie en Allemagne.

PRODUCTION DU MERCURE EN 1900 ET 1901.

	1900	1901
	ton. mét.	ton. mét.
États-Unis	967	992
Espagne	1.112	846
Autriche-Hongrie	550	540
Russie	304	363
Italie	270	273
Production totale	3.203	3.014

[*Extrait* (*modifié en ce qui touche la France*) *des* Statistische Zusammenstellungen von der Metallgesellschaft und der Metallurgischen Gesellschaft A.-G., 9r *Jahrgang*.]

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BAVIÈRE EN 1901.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	NOMBRE d'ouvriers
1° *Mines et Salines.*			
	tonnes	francs	
Houille	1.087.150	16.253.050	7.118
Lignite	24.439	115.830	159
Minerai de fer	158.820	894.895	842
Pyrites	2.649	40.247	40
Graphite	4.435	285.043	»
Sel gemme	1.319	30.550	100
Sel extrait par dissolution	41.217	2.259.920	932
2° *Usines.*			
Fonte brute	72.071	4.664.005	424
Fer en barres	29.978	5.047.151	1.254
Acier	109.464	17.686.635	1.815

(*Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.)

RAPPORT A M. LE MINISTRE DES COLONIES

SUR

LES RICHESSES MINÉRALES

DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE

Par M. E. GLASSER, Ingénieur au Corps des Mines.

(*Suite*) (*).

DEUXIÈME PARTIE.

CHAPITRE II.

LES PRINCIPAUX GISEMENTS DE NICKEL CONNUS EN NOUVELLE-CALÉDONIE.

Le tableau que nous avons donné ci-dessus, en terminant les quelques indications qui sont relatives au développement actuel de l'exploitation du nickel dans la colonie, montre que le nombre des mines ou des groupes de mines en activité est en somme restreint, tandis que la production de chaque mine est presque toujours d'une certaine importance. A côté des gisements aujourd'hui exploités, très nombreux sont ceux qui l'ont été autrefois, principalement dans les régions où se rencontraient les minerais verts et chocolat, c'est-à-dire surtout entre Tomo et Nouméa, à Nakety, dans les vallées de la Kagenjou et de

(*) Voir suprà, p. 299 et suiv.

la rivière de Kua, à Houaïlou, etc. ; mais très étendus sont aussi les espaces sur lesquels la présence du minerai de nickel a été reconnue d'une façon plus ou moins approfondie, sans qu'aucun travail d'exploitation y ait jamais été entrepris, et qui paraissent renfermer encore des réserves importantes de nickel.

Nous fournissons successivement ci-après quelques indications sur chacune de ces trois catégories de gisements.

A. — Les gisements exploités sur la côte orientale.

Les gisements de la côte orientale de l'île sont ceux qui, au début et pendant de longues années ensuite, ont été exploités avec le plus d'activité ; ils fournissent encore aujourd'hui la moitié de la production de la colonie : c'est en effet à Houaïlou et à Canala qu'ont eu lieu les premières exploitations, bientôt suivies de celle du Plateau de Thio, laquelle s'est depuis lors poursuivie presque sans interruption pendant vingt-cinq ans. Cette dernière constitue, avec l'exploitation aujourd'hui reprise de la mine Boa-Kaine et des mines voisines à Canala, et avec celle des mines de Kouaoua, qui avait brillamment débuté de 1888 à 1892, l'important groupe de travaux de la société « le Nickel », groupe qui a produit à lui seul, en 1901, 51.000 tonnes de minerai, soit près de la moitié de la production de la colonie.

Les exploitations actuelles de Thio, qui ont livré plus de 40.000 tonnes de minerai en 1901, se répartissent en quatre groupes, dont l'importance relative au moment de notre passage est indiquée par les chiffres suivants : le groupe du Plateau de Thio (production mensuelle = 700 tonnes), la mine des Bornets (production mensuelle = 1.850 tonnes), le groupe de la vallée de la Dothio (produc—

tion mensuelle 600 tonnes) et la mine Toumourou (production mensuelle 350 tonnes).

Le gisement du *Plateau de Thio* peut être pris comme type des gisements de minerais compacts, verts et bruns, se rencontrant en filons ou en filonnets dans les cassures, tantôt larges, tantôt fort minces, qui se développent dans les péridotites au voisinage de la surface. Le massif montagneux dans lequel est situé le gisement s'élève, par des pentes très rapides, jusqu'à plus de 650 mètres d'altitude immédiatement au-dessus de l'embouchure de la rivière de Thio et sur la rive gauche de celle-ci (Voir Pl. XII, *fig.* 1); les différents sommets de ce massif dessinent une sorte de fer à cheval irrégulier qui entoure un plateau de même forme dominant la mer de 500 mètres environ, tandis que, vers la base du fer à cheval, c'est-à-dire vers le Nord, s'ouvre par des ravins très abrupts l'écoulement des eaux du massif vers la mer. Le plateau est entièrement recouvert d'argile rouge; mais tout autour s'élèvent des pitons d'une péridotite relativement peu serpentinisée et d'un vert franc avec petits cristaux d'enstatite peu abondants. C'est sur les flancs et jusqu'au sommet de ces pitons, qui d'un côté dominent le plateau de 100 à 200 mètres et de l'autre côté tombent en pentes rapides sur la vallée, que se rencontre le nickel : ses minerais se présentent, avec une plus ou moins grande irrégularité, tout le long des versants qui descendent vers le plateau, tandis que sur ceux qui s'abaissent vers la vallée ils ne se retrouvent guère qu'au-dessus du niveau du plateau.

Les différents pitons serpentineux sont sillonnés de cassures. Quelques-unes d'entre ces cassures ont une largeur assez sérieuse et pourraient peut-être être assimilées à des filons s'ouvrant jusque dans les profondeurs de la croûte terrestre, bien qu'elles ne présentent que peu de continuité en longueur et qu'elles ne se groupent

que très imparfaitement dans une direction déterminée (Voir Pl. XII, *fig.* 2); la plupart de ces fractures principales se prolongent bien à travers un même mamelon, de telle sorte que, trouvées sur un versant de l'un d'eux, elles peuvent être retrouvées sur l'autre, mais il est beaucoup plus rare qu'elles puissent être suivies d'un mamelon jusqu'au voisin. Les autres cassures, au contraire, qui sont de beaucoup les plus nombreuses, ont des épaisseurs qui ne dépassent pas quelques centimètres, parfois seulement quelques millimètres, et ne présentent aucune continuité en direction; elles se succèdent cependant, dans une même région restreinte, parallèlement à elles-mêmes, tout en étant d'ailleurs recoupées par une série de fentes secondaires formant avec elles un réseau très complexe; ce caractère d'une direction dominante des plans de cassure est assez net pour qu'un homme habitué à l'exploitation des carrières de roches sédimentaires puisse croire y distinguer « un lit de carrière »; mais la direction de ce prétendu lit varie non seulement d'un mamelon à l'autre, mais encore souvent d'une face à l'autre d'un même mamelon; nous sommes tenté d'y voir simplement des plans de fissure, qui se sont produits au moment du refroidissement de la roche, et qui en chaque point ont pris plus aisément la direction d'un plan déterminé par suite d'un phénomène du même ordre que celui qui donne naissance aux orgues et aux colonnades basaltiques. Ce sont ces mille cassures, les unes larges, les autres fort étroites, dans lesquelles s'est déposé le minerai.

Dans les cassures larges, le remplissage est complexe : souvent les faces de la péridotite sont recouvertes de concrétions zonées de quelques centimètres d'épaisseur de minerais vert ou chocolat alternant fréquemment entre eux, tandis qu'au contact de ces enduits la péridotite elle-même est soit craquelée et incrustée d'un réseau de sili-

cate vert, soit plus complètement imprégnée de nickel; dans ce dernier cas, elle est parfois transformée en une roche paraissant homogène et rappelant la serpentine noble, tantôt avec une couleur foncée presque noire, tantôt d'un vert plus clair et plus franc, et ayant une teneur assez élevée en nickel. Au milieu même du remplissage, on rencontre des blocs éboulés de péridotite recouverts eux aussi de minerai, et plus ou moins pénétrés par le nickel; le remplissage est complété par des matières variées, rognons siliceux plus ou moins teintés de vert, silicates magnésiens blanchâtres se rapprochant du chrysotile ou de l'asbeste, et parfois en outre argiles rouges vraisemblablement entrainées par les eaux depuis la surface qu'elles recouvrent sur une plus ou moins grande épaisseur.

Lorsque les cassures sont plus minces, elles sont occupées sur une fraction plus importante de leur épaisseur par des concrétions silicatées, entre lesquelles on rencontre souvent des plaquettes de roche serpentinisée et d'autres fois des matières terreuses rouges ou brunes; la *fig.* 3 de la Pl. XII, qui reproduit un croquis relevé sur place dans l'une des carrières, donne une idée de ce que peuvent être de semblables filonnets; nous y avons indiqué les teneurs en nickel des différentes matières qui en constituent le remplissage et dont nous avions pris des échantillons.

Si les fissures de la roche n'ont que quelques centimètres, ou moins, ce sont des filonnets de minerai vert ou chocolat à peu près pur que l'on y rencontre; dans celles qui sont tout à fait minces, il se forme de petites plaquettes vertes qui, lorsque l'on brise la roche, restent généralement en enduit adhérent sur elle; cet enduit est même parfois si mince qu'il ne saurait être séparé de la péridotite, qui conserve alors une surface d'une belle couleur verte trompeuse; on dit dans ce cas que le bloc est « peint ». Il semble d'ailleurs que la péné-

tration du nickel dans la roche encaissante soit en raison directe de la largeur des fissures : très notable et s'étendant sur plusieurs centimètres d'épaisseur pour les cassures importantes, elle devient à peu près nulle pour les plus minces, et, une fois enlevée la petite croûte verte qui recouvre la péridotite, on la retrouve complètement saine et stérile.

C'est par l'attaque, à la manière dont on exploite les filons métalliques, des remplissages des larges cassures que l'exploitation du nickel a débuté au Plateau de Thio; de nombreuses galeries en direction, dont la *fig.* 2 de la Pl. XII figure quelques-unes, ont été ouvertes sur les affleurements qui paraissaient les plus beaux, et elles ont été poussées avec un succès variable sur des longueurs atteignant parfois plusieurs centaines de mètres.

Mais, au bout d'un certain temps, on s'est aperçu, qu'en s'enfonçant ainsi dans les cassures larges dont la minéralisation était toujours un peu capricieuse et dont le remplissage était en proportion très notable stérile, on laissait tout à côté un grand nombre de filonnets qu'il était impossible de suivre individuellement, mais dont l'ensemble renfermait une quantité importante de fort bon minerai, qui demeurait de la sorte inutilisé. On fut donc bientôt amené à ouvrir, à côté des galeries souterraines suivant les larges cassures, des carrières (*) sur les points où les fissures étroites et les fentes étaient suffisamment nombreuses. Peu à peu les exploitations souterraines se sont montrées d'autant moins satisfaisantes que la minéralisation y diminuait à mesure que l'on s'enfonçait dans la montagne; d'autre part, la nécessité, pour suivre les

(*) Le terme de « carrières » est celui qui est constamment employé en Nouvelle-Calédonie pour désigner un ensemble de travaux à ciel ouvert pratiqués au flanc d'une colline ou d'une montagne en vue de l'abatage du minerai de nickel; nous emploierons dans la suite ce terme avec cette signification.

exigences du marché, de produire le minerai à un prix beaucoup plus bas, en même temps que la possibilité de le livrer à moindre teneur, constituaient d'autres raisons pour abandonner les exploitations souterraines et pour chercher à poursuivre des exploitations par carrières; aussi les secondes furent-elles peu à peu substituées aux premières dans la période de 1888 à 1892.

C'est ainsi qu'aujourd'hui les différents mamelons qui entourent le Plateau de Thio sont découpés par une série de gradins, où ont été ouvertes des carrières s'avançant avec un front plus ou moins large, suivant que la minéralisation de l'ensemble des cassures de la roche se montre suffisante sur une plus ou moins grande largeur. L'expérience montre que, lorsqu'elle était satisfaisante aux affleurements mêmes, cette minéralisation diminue de plus en plus après un avancement de 10, 15, ou 20 mètres suivant les cas : le remplissage des cassures importantes devient plus quartzeux ou surtout plus magnésien, quant aux cassures plus petites, ou bien elles disparaissent ou bien elles ne sont plus sillonnées que par des concrétions magnésiennes stériles que l'on ne remarque plus. Quoi qu'il en soit, il est un fait bien facile à observer, c'est que, pour tous les mamelons qui ont été exploités, on a été conduit à en enlever une partie qui, aux irrégularités près que comporte toujours une semblable chose, dessine assez bien une sorte de calotte telle que celle que figure en pointillé la *fig.* 4 de la Pl. XII, qui représente schématiquement en traits pleins la disposition des carrières telles qu'elles ont dû être arrêtées.

Nous ajouterons que l'on a naturellement entrepris l'exploitation d'abord sur les meilleures parties des gisements ou sur les mieux situées, et qu'aujourd'hui on ne peut plus que pousser jusqu'aux limites extrêmes de l'exploitabilité les carrières ouvertes autrefois, ou bien en attaquer de nouvelles sur les points moins richement mi-

néralisés. La *fig.* 2 de la Pl. XII figure approximativement la disposition des différents travaux exécutés au Plateau de Thio ; les carrières actuellement en activité sont les carrières des groupes Santa-Maria, Sans-Culottes et Moulinet.

On en arrive ainsi actuellement à être obligé d'extraire en moyenne 10 à 11 mètres cubes, comptés une fois abattus, soit une quinzaine de tonnes de roche, pour en retirer une tonne de minerai trié atteignant une teneur de 6 1/2 à 7 p. 100. Le triage comprend, d'une part, un scheidage à la main permettant de mettre à part les plus beaux morceaux, qui constituent le minerai d'enrichissement, puis un criblage à une maille convenable (10, 15, ou 20 millimètres suivant la nature du minerai) destiné à séparer tous les morceaux volumineux, pratiquement pauvres en nickel, des fragments minéralisés, qui, beaucoup plus désagrégés et plus friables, se rencontrent en proportion dominante parmi les plus petits morceaux.

Pour donner une idée de l'importance du gisement, nous renverrons à la *fig.* 2 de la Pl. XII, qui indique l'étendue sur laquelle se développent, ou se sont développées, les différentes exploitations, et nous ajouterons qu'il résulte des renseignements que nous avons pu recueillir qu'elles auraient produit jusqu'ici près de 250.000 tonnes de minerai au total, soit une moyenne de 10.000 tonnes environ par an, et qu'elles auraient livré, au cours de certaines années de prospérité de la période de 1890-1894, jusqu'à 25.000 et 30.000 tonnes. L'exploitation se poursuivait au moment de notre passage sur le pied de 700 tonnes par mois.

La teneur des minerais produits était au début de 10 p. 100 et même de 12 p. 100, tandis que, pour conserver une telle teneur au produit à expédier, on était amené à jeter beaucoup de minerai qui, aujourd'hui, serait considéré comme excellent ; cette teneur a, depuis lors, été abaissée d'abord à 8 p. 100, puis à 7 p. 100 et maintenant aux environs de 6 1/2 p. 100.

Au cours des quelques dernières années, les extractions du Plateau de Thio ont été en diminuant; elles se poursuivent encore aujourd'hui, malgré la quantité considérable de stérile qu'il faut abattre et dont l'abatage en roche dure est fort coûteux, grâce à l'existence de toutes les installations de transport, de logement d'ouvriers, etc., qui peuvent être considérées comme déjà largement amorties. Il semble que l'exploitation atteigne aujourd'hui la limite à laquelle elle est rémunératrice.

Les gisements de la vallée de la *Dothio* appartiennent au même type que ceux du Plateau de Thio : situés sur la crête étroite qui s'élève à quelque 400 mètres d'altitude entre le rivage de la mer et la rive gauche de la rivière Dothio, et dans un massif de péridotite foncée très dure et très cristalline, ils sont, eux aussi, essentiellement constitués par des filonnets et enduits de minerai compact riche, mais très disséminé : l'exploitation, relativement peu active, qui s'y poursuivait au moment de notre passage, en extrayait avec peine des minerais à teneur suffisante dans l'ensemble. La mine *Toumourou*, située sur la rive gauche de la rivière de Thio, et à quelque 5 ou 6 kilomètres à l'amont de Thio, est dans des conditions analogues.

Tout autre est le gisement de la mine *des Bornets*, située entre 500 et 600 mètres d'altitude sur l'un des contreforts du massif du mont Douétampo, qui domine la rive gauche de la rivière Nembrou, à peu de distance de son confluent avec la rivière de Thio. Là l'exploitation, entreprise depuis quelques années seulement, se poursuit sur des minerais bréchoïdes complexes qui appartiennent aux types que nous avons décrits sous ce qualificatif : de larges fronts de taille étagés en gradins abattent, immédiatement au-dessous des argiles superficielles, l'ensemble que constituent des blocs de péridotite fortement serpentinisée, disloqués et isolés au milieu d'un

magma bréchoïde formé à la fois de fragments plus petits de serpentine altérée, de terre argileuse et de minerais divers, soit concrétions de silicate vert ou chocolat, soit masses terreuses.

Le tout est aisément abattu à la pince et au pic; les blocs volumineux sont ensuite soigneusement dépouillés des croûtes friables qui les entourent, et qui sont constituées, pour une part, de minerais déposés en minces enduits sur les blocs et, pour l'autre part, de serpentine altérée et minéralisée; quant aux fragments plus petits, mais encore assez gros, ils sont triés suivant leur aspect plus ou moins altéré, quelquefois ils sont déshabillés de leurs enduits à la manière des gros blocs; enfin tous les petits débris de roche, les écailles de minerai, les poussières et les terres sont conservés. Nous devons d'ailleurs faire observer que ce fait que l'on n'est pas obligé d'employer la poudre pour l'abatage fait que tous les fragments un peu petits que l'on rencontre avaient naturellement de telles dimensions, et se trouvent de ce fait suffisamment minéralisés pour pouvoir être conservés; au contraire, lorsque, dans d'autres gisements, on emploie les explosifs, ceux-ci fragmentent les roches inaltérées et stériles, de telle manière qu'il faut procéder au triage à la main jusqu'à une dimension beaucoup plus faible. Préalablement à l'exploitation, on a soin d'enlever les argiles rouges de recouvrement ainsi que celles qui ont pu se déposer entre les blocs et qui sont généralement demeurées stériles ou à peu près; enfin, au cours même de l'exploitation, les remplissages de certaines poches, particulièrement argileux ou magnésiens, sont, soit rejetés au stérile, soit tout au moins mis de côté pour être analysés afin de reconnaître s'ils peuvent être incorporés ou non dans le minerai.

Les croquis reproduits par les *fig.* 5 et 6 de la Pl. XII, que nous avons relevés à l'un des chantiers de la mi

des Bornets, pourront donner une idée de ce que sont les minerais très complexes qu'on y exploite, et de la façon dont ils se présentent. Bien que l'apparence de tels chantiers soit beaucoup moins engageante que celle des bons chantiers du Plateau de Thio, et que les quantités un peu notables de beau minerai vert ne s'y présentent qu'exceptionnellement, le rendement de ces chantiers est beaucoup plus élevé, puisqu'on ne produit guère que 8 mètres cubes de stérile abattu pour 1 mètre cube, soit 1.200 à 1.300 kilogrammes, de minerai, et que, d'autre part, l'abatage peut y être fait à l'aide de la pince et de la pioche, au lieu d'exiger l'emploi des explosifs; aussi la production individuelle par ouvrier occupé à l'abatage est-elle à la mine des Bornets plus du double de ce qu'elle est au Plateau. L'éloignement de la mine par rapport à la mer a d'ailleurs exigé la création de voies de transport économiques : un transporteur aérien permet de descendre le minerai depuis les carrières jusqu'au bord de la rivière de Thio, et un chemin de fer de 10 kilomètres de développement le conduit ensuite au point d'embarquement. La mine des Bornets produit actuellement de 1.600 à 1.800 tonnes de minerai par mois, et les carrières ouvertes aujourd'hui ont encore pour la plupart des quantités importantes de minerai devant elles. D'autre part des affleurements, dont le caractère paraît aussi satisfaisant que celui des affleurements sur lesquels ont été ouverts les travaux que nous avons vus, se rencontrent encore en nombre de points du puissant massif montagneux auquel appartient le contrefort sur lequel a lieu aujourd'hui l'exploitation.

Nous ajouterons, pour en finir avec la région de Thio, que la minéralisation ne se limite pas aux quelques massifs sur lesquels se poursuivent les exploitations actuelles, et que plusieurs autres mines ont été exploitées, avec un certain succès, soit sur la rive gauche de la rivière de

Thio à l'amont du Plateau, soit sur la rive droite entre la rivière Nembrou et le rivage. La *fig.* 1 de la Pl. XII indique d'ailleurs la distribution autour de Thio des exploitations actuelles et des différents périmètres miniers.

Les exploitations de la société le Nickel à Canala sont beaucoup moins importantes que celles de Thio, puisqu'elles n'ont produit, en 1901, que 5.800 tonnes, et que leur activité n'avait été que légèrement accrue au début de 1902; elles se partageaient en trois groupes au moment de notre visite : celui de la mine Boa-Kaine (production mensuelle 250 tonnes), celui de la carrière du Sapin et des carrières voisines (production mensuelle 250 tonnes), situés l'un et l'autre dans le massif qui s'élève sur la rive gauche de la Négropo entre celle-ci et l'affluent qu'elle reçoit au voisinage immédiat de son embouchure, et enfin le groupe des mines Paulat et Kraisker, sur la rive droite de la rivière Ouen-Ouango (production mensuelle 100 tonnes).

La première de ces exploitations est constituée par diverses carrières ouvertes çà et là sur des affleurements plus ou moins riches ; elle comprend en outre des glanages tout autour de l'ancienne exploitation du célèbre filon de la *Boa-Kaine*. Ce gisement est l'un des deux premiers qui aient été exploités dans la colonie : signalé dès l'abord à l'attention des explorateurs par un énorme glacis d'un vert vif, qui n'était qu'un enduit silicaté sur une des épontes mise à nu par l'érosion de son remplissage friable, à une époque où l'on ne soupçonnait pas la nature de cette coloration, il a été mis en exploitation à la fin de 1875, sitôt que la véritable composition et la valeur des minerais verts de nickel fut bien connue. Des travaux souterrains assez développés y ont été poursuivis d'abord de la fin de 1875 à 1878, puis de 1879 à 1881 ; ils auraient produit environ 8.000 tonnes de minerai d'une teneur de 12 à 14 p. 100. La *fig.* 7 de la Pl. XII représente ces anciens

travaux en plan et en coupe, et donne une idée assez nette de l'allure du gîte, qui paraît bien être une allure filonienne; le filon a, comme on le voit, été suivi sur une longueur dépassant 150 mètres, et sur une hauteur verticale de plus de 100 mètres entre les cotes 190 et 300 environ; il paraît d'ailleurs se perdre complètement en profondeur. Arrêtée au moment de la première crise du nickel, l'exploitation a été reprise, toujours souterrainement, de 1891 à 1894, et a pu encore être menée avec profit, grâce à la possibilité d'utiliser des minerais notablement moins riches qu'au début. Enfin, après la deuxième crise, la société le Nickel y a repris, en 1898, les travaux qui se poursuivent depuis lors à ciel ouvert et dont l'objet est de rechercher, soit dans le filon même, soit dans ses épontes, les minerais trop pauvres, ou censés tels à l'époque, pour avoir été pris autrefois; on en extrait encore couramment aujourd'hui des minerais servant à enrichir ceux des carrières voisines, c'est-à-dire tenant de 7 1/2 à 8 0/0 de nickel; il faut d'ailleurs, en moyenne, remuer 10 mètres cubes de déblais pour obtenir une tonne de minerai. Ce que l'on exploite est constitué, pour une large part, par le remplissage même du filon, qui avait été laissé lorsqu'il s'appauvrissait en silicate vert bien net: ce sont des masses bréchoïdes contenant, avec des blocs stériles, des sortes de conglomérats de petits fragments de serpentine empâtés dans des silicates verts, fréquemment teintés de bleu violacé, qui dans l'ensemble ont encore des teneurs de 7 à 8 p. 100 jugées insuffisantes autrefois; aussi retrouve-t-on par places dans le filon, souvent puissant de 3 à 4 mètres, une galerie, de 60 à 80 centimètres de large tout au plus, ayant suivi le long d'une des épontes des plaquettes riches plus ou moins abondantes, mais ayant négligé systématiquement les minerais que nous venons de définir et parfois en outre, soit au milieu d'eux, soit sur l'autre éponte, de riches filonnets de minerai vert ou chocolat. Enfin les

premiers mineurs avaient laissé intactes les épontes qui sont souvent minéralisées à 6 et 8 p. 100 de nickel sur une épaisseur atteignant plusieurs décimètres, épaisseur qui semble, comme nous l'avons déjà mentionné, d'autant plus importante que la cassure où ont circulé les eaux chargées de nickel était plus large et offrait à ces eaux un passage plus facile et demeuré plus longtemps ouvert.

A côté de ce filon principal, dit « filon anglais », il existe dans le massif nombre d'autres cassures, souvent d'une assez belle largeur, où la minéralisation s'est trouvée moins riche que dans celui-ci, mais où elle permet encore parfaitement l'exploitation; on y rencontre surtout des remplissages formés de blocs minéralisés à la surface et cimentés par des silicates nickelifères plus ou moins purs; la *fig*. 8 de la Pl. XII représente un aspect assez fréquent dans ce gite.

Les autres gisements exploités à Canala sont fort irréguliers; ils se rapprocheraient davantage du type de la mine des Bornets, mais ils ne présentent aucun caractère typique sur lequel il y ait lieu d'insister ici; il en est de même de ceux qui sont exploités dans le massif qui domine la baie Ouango, soit par la société le Nickel, soit par une entreprise particulière dont les travaux débutaient au moment de notre passage.

Dans la vallée de la rivière de Kouaoua, qui s'ouvre au milieu de la formation serpentineuse sur une assez grande longueur, soit 7 kilomètres environ pour la rive droite et 10 kilomètres pour la rive gauche, le nickel se montre en quantité considérable, et souvent avec une belle richesse, sur un grand nombre de contreforts. L'exploitation y a débuté sur le massif le plus voisin de la mer, entre la rivière de Kouaoua et la Kagenjou, avec les mines la Dorée, la Loire, etc..., et elle a produit jusqu'à 14.000 tonnes par an (en 1894); après

l'épuisement des ressources faciles à atteindre sur ce massif, l'exploitation a été reportée sur la montagne Méfao, située en face sur l'autre rive de la rivière de Kouaoua. Épuisée à son tour, la mine Méfao a dû être remplacée par les différentes mines (Irlandaise, Woolloomooloo, Toucamboï, etc...) que l'on vient d'ouvrir au fond de la vallée et sur la rive gauche de la rivière, à la suite de la création des moyens nécessaires pour le transport des minerais jusqu'à la mer. Ce travail vient seulement d'être terminé; aussi le groupe de Kouaoua n'a-t-il produit, en 1901, que 3.390 tonnes, mais a-t-il, pendant le premier semestre de 1902, élevé sa production jusqu'à 8.500 tonnes environ.

Sur les massifs situés à l'entrée de la vallée, on parait avoir exploité, autant qu'il est possible d'en juger aujourd'hui, des remplissages à caractère souvent terreux, mais où apparaissaient aussi des plaquettes de minerai vert ou chocolat : le tout se rencontrait au milieu de blocs éboulés et dans les anfractuosités des têtes en place d'une péridotite d'un aspect un peu spécial. Dans cette roche, dont nous avons cependant déjà trouvé des types voisins à Canala, la masse de l'olivine serpentinisée est remplie de petites lamelles brunes à éclat un peu cireux de bronzite, ce qui donne à l'ensemble une coloration foncée avec esquilles jaune brun ; d'autre part, au voisinage des parties nickelifères, des enduits très minces légèrement bleutés sont fréquents dans les cassures, d'ailleurs très inégales, de la roche, et contribuent à lui donner un aspect particulier; la coloration brune de l'ensemble correspond à une richesse assez notable en fer.

La mine *la Loire* s'est développée entre les altitudes de 100 et 150 mètres sur un des contreforts inférieurs d'un massif, sur les pentes duquel se trouvait également, entre 400 et 450 mètres d'altitude, le gisement de

la mine *la Dorée*, et sur les crêtes duquel ont été faits, entre 350 et 650 mètres d'altitude, les quelques travaux des mines *le Loiret* et *le Béarn* : les gisements affectaient ici nettement la forme de traînées d'une certaine largeur s'étalant à la surface des contreforts, dans lesquelles la minéralisation, qui se poursuit sur quelques mètres (6, 8, 10 mètres, parfois même 15 ou 20 mètres) à partir de la surface, semble avoir pénétré de l'extérieur vers le massif, comme si des solutions nickelifères avaient imbibé toutes les parties poreuses, remplissage terreux, surface extérieure plus ou moins altérée des blocs, etc., et avaient en outre déposé dans les vides qu'elles rencontraient des concrétions plus ou moins abondantes. Partout, lorsqu'on a cherché à s'enfoncer plus profondément au flanc de la montagne, on a vu la minéralisation diminuer rapidement ; quelques filonnets verts paraissaient bien se prolonger plus avant dans les fissures de la roche, mais les remplissages terreux, qui fournissaient le minerai le plus abondant et le plus facile à exploiter, diminuaient en raison de la diminution de l'importance des vides subsistant au milieu des blocs en place, en même temps que leur teneur en nickel s'abaissait et que la magnésie tendait à devenir dominante.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés, il aurait été extrait de la mine la Loire une trentaine de mille tonnes de minerai à teneur moyenne de 7 1/2 p. 100 ; il en aurait été exploité 20.000 à 25.000 tonnes sur la mine la Dorée.

Le gisement situé en face, et qui constitue la mine *Méfao*, présentait les mêmes caractères généraux ; on voit, s'étageant entre 400 et 300 mètres d'altitude, les gradins d'une série de carrières aujourd'hui abandonnées, dessinant une traînée minéralisée, que l'on n'a nulle part pu suivre un peu profondément dans le flanc de la montagne : l'exploitation a dû en être interrompue, faute

minerai suffisamment riche, après avoir fourni environ 25.000 tonnes. Dans ce gisement, comme d'ailleurs aux mines la Dorée et la Loire, on trouvait, à côté des zones à terres et poussières suffisamment riches, des matières de même nature et d'aspect peu différent dont la teneur en nickel s'abaissait progressivement; aussi n'a-t-on pas été, au cours de l'exploitation, sans remuer des quantités importantes de minerai à 5 et 6 p. 100, abandonnées sur place, et sans en laisser intactes, à côté des chantiers, des quantités plus importantes encore, que l'on ne pouvait exploiter faute de débouchés pour des minerais de telles teneurs.

Les mines actuellement exploitées au fond de la vallée de la rivière de Kouaoua sont à peu près du même type, constituant ici ou là entre les cotes 200 et 350 environ, sur les différents contreforts et croupes qui descendent vers l'Est du massif du Mé-Moa, une série de traînées, dont l'étendue paraît généralement assez restreinte, et sur lesquelles étaient répartis, au moment de notre passage, cinq ou six groupes de carrières produisant environ 1.500 tonnes par mois. Dans la plupart de ces groupes, l'exploitation se poursuit, sans pouvoir d'ailleurs s'enfoncer de plus de quelques mètres dans la montagne, au milieu de blocs détachés de serpentine, noyés, comme cela paraît avoir été le cas général pour les autres mines de Kouaoua, dans des matières poudreuses et terreuses, souvent jaune pâle, d'autres fois plus rouges, et assez exceptionnellement verdâtres, qui, bien triées, ont dans l'ensemble une teneur atteignant 7 à 7 1/2 p. 100; il en est de même des croûtes friables, également de couleur claire, qui recouvrent les blocs. L'exploitation comporte dès lors l'enlèvement des argiles rouges de recouvrement, qui sont généralement de faible épaisseur, puis l'abatage, uniquement au pic et à la pince, des blocs serpentineux naturellement détachés. On procède ensuite à

un triage assez minutieux du minerai, « piquant » les gros blocs pour en détacher une enveloppe désagrégée et minéralisée de quelques centimètres d'épaisseur, et recueillant toutes les matières pulvérulentes, après y avoir passé d'abord le râteau pour en enlever par un procédé expéditif les éléments de quelque dimension : tout ce qui n'est pas entraîné par le râteau est minerai, tandis que la pierraille qu'il ramène est triée à la main, fournissant le plus souvent peu de fragments utilisables. Cependant, dans quelques-unes des carrières que, ni le relief du terrain autour d'elles, ni la nature des roches, ne paraissent différencier d'une façon nette, les enduits compacts de silicate vert sur les blocs et les fragments de péridotite apparaissent plus nombreux, généralement aux dépens de la minéralisation des terres. Le rendement de ces diverses carrières est très variable de l'une à l'autre et même d'un point à l'autre d'un même chantier : ici (tel était le cas d'un groupe de chantiers de la mine Florentine au moment de notre passage), il suffit d'abattre 3 à 5 mètres cubes de rocher pour en extraire 1 mètre cube, soit en moyenne 1.300 kilogrammes, de bon minerai ; là au contraire, c'est 8 ou 10 mètres cubes de stérile au milieu desquels on arrive seulement à recueillir la même quantité de minerai.

A côté des exploitations poursuivies par la société le Nickel sur la côte Est, on en compte, le long de cette même côte, trois plus au Sud, et quelques-unes vers le Nord. Celles du Sud sont celles des mines *Puy-de-Dôme* et *les Roches* sur la rivière de Ni non loin de Konakoué, et de la mine *Prise-de-Recou* dans la vallée de la rivière To-N'Deu : étant donnée l'absence de voies de communication de cette région, qui n'est accessible que par mer et dont les rivages passent pour assez dangereux, ce qui entraîne à la fois des difficultés d'approvisionnement, de

recrutement de main-d'œuvre, d'expédition du minerai, etc..., on n'y a jusqu'ici mis en exploitation, parmi les nombreux gisements de nickel qui y ont été signalés et sur les surfaces considérables qui sont couvertes par des concessions ou demandes de concessions, que les affleurements les plus beaux fournissant facilement des minerais riches : ce sont les mines de cette région qui produisaient, au moment de notre séjour, les minerais les plus riches de la colonie : la mine les Roches en particulier faisait des livraisons à la teneur de 11 à 12 p. 100 de nickel. Les frais de transport et les différents frais accessoires rendent en effet plus avantageux de n'expédier par an qu'un petit nombre de milliers de tonnes de minerai riche plutôt qu'une quantité double, ou plus que double, d'un minerai légèrement appauvri par l'addition de déblais, qui sont aujourd'hui considérés comme stériles, mais qui ont encore une teneur de 5 ou 6 p. 100.

Ces gisements, quelque peu exceptionnels aujourd'hui, paraissent encore appartenir au type de ceux qui ont été exploités au début dans d'autres points de la colonie. Le croquis qui est reproduit par la *fig.* 1 de la Pl. XIII, et que nous avons relevé au front d'avancement de l'un des chantiers de la mine Prise-de-Rivoa, à la cote 480, sur un massif dominant presque à pic la vallée de la To-N'Deu, donnera une idée de ce que sont les plus belles parties d'un tel gisement : sur la droite du chantier, le massif de péridotite est coupé par un plan de fracture ou de glissement net recouvert d'un glacis de silicate vert, qui se prolonge sur une certaine épaisseur dans la roche par une série d'incrustations du même minerai dans les fentes de celle-ci. Entre cette paroi d'une part, et soit le manteau d'argile rouge superficielle, soit d'autres têtes de péridotite stériles d'autre part, se développe, sur une largeur atteignant jusqu'à 2 mètres, une brèche essentiellement cons-

magma bréchoïde formé à la fois de fragments plus petits de serpentine altérée, de terre argileuse et de minerais divers, soit concrétions de silicate vert ou chocolat, soit masses terreuses.

Le tout est aisément abattu à la pince et au pic; les blocs volumineux sont ensuite soigneusement dépouillés des croûtes friables qui les entourent, et qui sont constituées, pour une part, de minerais déposés en minces enduits sur les blocs et, pour l'autre part, de serpentine altérée et minéralisée; quant aux fragments plus petits, mais encore assez gros, ils sont triés suivant leur aspect plus ou moins altéré, quelquefois ils sont déshabillés de leurs enduits à la manière des gros blocs; enfin tous les petits débris de roche, les écailles de minerai, les poussières et les terres sont conservés. Nous devons d'ailleurs faire observer que ce fait que l'on n'est pas obligé d'employer la poudre pour l'abatage fait que tous les fragments un peu petits que l'on rencontre avaient naturellement de telles dimensions, et se trouvent de ce fait suffisamment minéralisés pour pouvoir être conservés; au contraire, lorsque, dans d'autres gisements, on emploie les explosifs, ceux-ci fragmentent les roches inaltérées et stériles, de telle manière qu'il faut procéder au triage à la main jusqu'à une dimension beaucoup plus faible. Préalablement à l'exploitation, on a soin d'enlever les argiles rouges de recouvrement ainsi que celles qui ont pu se déposer entre les blocs et qui sont généralement demeurées stériles ou à peu près; enfin, au cours même de l'exploitation, les remplissages de certaines poches, particulièrement argileux ou magnésiens, sont, soit rejetés au stérile, soit tout au moins mis de côté pour être analysés afin de reconnaître s'ils peuvent être incorporés ou non dans le minerai.

Les croquis reproduits par les *fig.* 5 et 6 de la Pl. XII, et que nous avons relevés à l'un des chantiers de la mine

des Bornets, pourront donner une idée de ce que sont les minerais très complexes qu'on y exploite, et de la façon dont ils se présentent. Bien que l'apparence de tels chantiers soit beaucoup moins engageante que celle des bons chantiers du Plateau de Thio, et que les quantités un peu notables de beau minerai vert ne s'y présentent qu'exceptionnellement, le rendement de ces chantiers est beaucoup plus élevé, puisqu'on ne produit guère que 8 mètres cubes de stérile abattu pour 1 mètre cube, soit 1.200 à 1.300 kilogrammes, de minerai, et que, d'autre part, l'abatage peut y être fait à l'aide de la pince et de la pioche, au lieu d'exiger l'emploi des explosifs; aussi la production individuelle par ouvrier occupé à l'abatage est-elle à la mine des Bornets plus du double de ce qu'elle est au Plateau. L'éloignement de la mine par rapport à la mer a d'ailleurs exigé la création de voies de transport économiques : un transporteur aérien permet de descendre le minerai depuis les carrières jusqu'au bord de la rivière de Thio, et un chemin de fer de 10 kilomètres de développement le conduit ensuite au point d'embarquement. La mine des Bornets produit actuellement de 1.600 à 1.800 tonnes de minerai par mois, et les carrières ouvertes aujourd'hui ont encore pour la plupart des quantités importantes de minerai devant elles. D'autre part des affleurements, dont le caractère parait aussi satisfaisant que celui des affleurements sur lesquels ont été ouverts les travaux que nous avons vus, se rencontrent encore en nombre de points du puissant massif montagneux auquel appartient le contrefort sur lequel a lieu aujourd'hui l'exploitation.

Nous ajouterons, pour en finir avec la région de Thio, que la minéralisation ne se limite pas aux quelques massifs sur lesquels se poursuivent les exploitations actuelles, et que plusieurs autres mines ont été exploitées, avec un certain succès, soit sur la rive gauche de la rivière de

Thio à l'amont du Plateau, soit sur la rive droite entre la rivière Nembrou et le rivage. La *fig.* 1 de la Pl. XII indique d'ailleurs la distribution autour de Thio des exploitations actuelles et des différents périmètres miniers.

Les exploitations de la société le Nickel à Canala sont beaucoup moins importantes que celles de Thio, puisqu'elles n'ont produit, en 1901, que 5.800 tonnes, et que leur activité n'avait été que légèrement accrue au début de 1902; elles se partageaient en trois groupes au moment de notre visite : celui de la mine Boa-Kaine (production mensuelle 250 tonnes), celui de la carrière du Sapin et des carrières voisines (production mensuelle 250 tonnes), situés l'un et l'autre dans le massif qui s'élève sur la rive gauche de la Négropo entre celle-ci et l'affluent qu'elle reçoit au voisinage immédiat de son embouchure, et enfin le groupe des mines Paulat et Kraisker, sur la rive droite de la rivière Ouen-Ouango (production mensuelle 100 tonnes).

La première de ces exploitations est constituée par diverses carrières ouvertes çà et là sur des affleurements plus ou moins riches ; elle comprend en outre des glanages tout autour de l'ancienne exploitation du célèbre filon de la *Boa-Kaine*. Ce gisement est l'un des deux premiers qui aient été exploités dans la colonie : signalé dès l'abord à l'attention des explorateurs par un énorme glacis d'un vert vif, qui n'était qu'un enduit silicaté sur une des épontes mise à nu par l'érosion de son remplissage friable, à une époque où l'on ne soupçonnait pas la nature de cette coloration, il a été mis en exploitation à la fin de 1875, sitôt que la véritable composition et la valeur des minerais verts de nickel fut bien connue. Des travaux souterrains assez développés y ont été poursuivis d'abord de la fin de 1875 à 1878, puis de 1879 à 1881 ; ils auraient produit environ 8.000 tonnes de minerai d'une teneur de 12 à 14 p. 100. La *fig.* 7 de la Pl. XII représente ces anciens

travaux en plan et en coupe, et donne une idée assez nette de l'allure du gite, qui paraît bien être une allure filonienne; le filon a, comme on le voit, été suivi sur une longueur dépassant 150 mètres, et sur une hauteur verticale de plus de 100 mètres entre les cotes 190 et 300 environ; il paraît d'ailleurs se perdre complètement en profondeur. Arrêtée au moment de la première crise du nickel, l'exploitation a été reprise, toujours souterrainement, de 1891 à 1894, et a pu encore être menée avec profit, grâce à la possibilité d'utiliser des minerais notablement moins riches qu'au début. Enfin, après la deuxième crise, la société le Nickel y a repris, en 1898, les travaux qui se poursuivent depuis lors à ciel ouvert et dont l'objet est de rechercher, soit dans le filon même, soit dans ses épontes, les minerais trop pauvres, ou censés tels à l'époque, pour avoir été pris autrefois; on en extrait encore couramment aujourd'hui des minerais servant à enrichir ceux des carrières voisines, c'est-à-dire tenant de 7 1/2 à 8 0/0 de nickel; il faut d'ailleurs, en moyenne, remuer 10 mètres cubes de déblais pour obtenir une tonne de minerai. Ce que l'on exploite est constitué, pour une large part, par le remplissage même du filon, qui avait été laissé lorsqu'il s'appauvrissait en silicate vert bien net: ce sont des masses bréchoïdes contenant, avec des blocs stériles, des sortes de conglomérats de petits fragments de serpentine empâtés dans des silicates verts, fréquemment teintés de bleu violacé, qui dans l'ensemble ont encore des teneurs de 7 à 8 p. 100 jugées insuffisantes autrefois; aussi retrouve-t-on par places dans le filon, souvent puissant de 3 à 4 mètres, une galerie, de 60 à 80 centimètres de large tout au plus, ayant suivi le long d'une des épontes des plaquettes riches plus ou moins abondantes, mais ayant négligé systématiquement les minerais que nous venons de définir et parfois en outre, soit au milieu d'eux, soit sur l'autre éponte, de riches filonnets de minerai vert ou chocolat. Enfin les

Thio à l'amont du Plateau, soit sur la r ,ontes q la rivière Nembrou et le rivage. La f .e nickel s indique d'ailleurs la distribution aut .res, épaisse tations actuelles et des différents ationné, d'aut , circulé les ca

Les exploitations de la soc offrait à ces c beaucoup moins importante s longtemps ouv n'ont produit, en 1901, on anglais », il ex vité n'avait été que l assures, souvent d elles se partageaier minéralisation s'est trou visite : celui de la ui-ci, mais où elle permet 250 tonnes), c xploitation ; on y rencontre sur voisines (pro formés de blocs minéralisés à la surf l'autre dar par des silicates nickelifères plus ou m Négrop 8 de la Pl. XII représente un aspect assez nage dans ce gite. mir autres gisements exploités à Canala sont C guliers ; ils se rapprocheraient davantage du typ mine des Bornets, mais ils ne présentent aucun car tère typique sur lequel il y ait lieu d'insister ici ; il est de même de ceux qui sont exploités dans le mas qui domine la baie Ouango, soit par la société le Nick soit par une entreprise particulière dont les trava débutaient au moment de notre passage.

Dans la vallée de la rivière de Kouaoua, qui s'ouvre milieu de la formation serpentineuse sur une as grande longueur, soit 7 kilomètres environ pour la r droite et 10 kilomètres pour la rive gauche, le nickel montre en quantité considérable, et souvent avec belle richesse, sur un grand nombre de contrefor L'exploitation y a débuté sur le massif le plus voisin la mer, entre la rivière de Kouaoua et la Kageu avec les mines la Dorée, la Loire, etc..., et elle a p duit jusqu'à 14.000 tonnes par an en 1894 ; ap

nt des ressources faciles à atteindre sur ce
loitation a été reportée sur la montagne
en face sur l'autre rive de la rivière de
se à son tour, la mine Méfao a dû être
différentes mines (Irlandaise, Wool-
ï, etc...) que l'on vient d'ouvrir au
r la rive gauche de la rivière, à la
les moyens nécessaires pour le
jusqu'à la mer. Ce travail vient
terminé; aussi le groupe de Kouaoua
... en 1901, que 3.390 tonnes, mais a-t-il,
le premier semestre de 1902, élevé sa production
qu'à 8.500 tonnes environ.

Sur les massifs situés à l'entrée de la vallée, on paraît avoir exploité, autant qu'il est possible d'en juger aujourd'hui, des remplissages à caractère souvent terreux, mais où apparaissaient aussi des plaquettes de minerai vert ou chocolat : le tout se rencontrait au milieu de blocs éboulés et dans les anfractuosités des têtes en place d'une péridotite d'un aspect un peu spécial. Dans cette roche, dont nous avons cependant déjà trouvé des types voisins à Canala, la masse de l'olivine serpentinisée est remplie de petites lamelles brunes à éclat un peu cireux de bronzite, ce qui donne à l'ensemble une coloration foncée avec esquilles jaune brun; d'autre part, au voisinage des parties nickelifères, des enduits très minces légèrement bleutés sont fréquents dans les cassures, d'ailleurs très inégales, de la roche, et contribuent à lui donner un aspect particulier; la coloration brune de l'ensemble correspond à une richesse assez notable en fer.

La mine *la Loire* s'est développée entre les altitudes de 100 et 150 mètres sur un des contreforts inférieurs d'un massif, sur les pentes duquel se trouvait également, entre 400 et 450 mètres d'altitude, le gisement de

premiers mineurs avaient laissé intactes les épontes qui sont souvent minéralisées à 6 et 8 p. 100 de nickel sur une épaisseur atteignant plusieurs décimètres, épaisseur qui semble, comme nous l'avons déjà mentionné, d'autant plus importante que la cassure où ont circulé les eaux chargées de nickel était plus large et offrait à ces eaux un passage plus facile et demeuré plus longtemps ouvert.

A côté de ce filon principal, dit « filon anglais », il existe dans le massif nombre d'autres cassures, souvent d'une assez belle largeur, où la minéralisation s'est trouvée moins riche que dans celui-ci, mais où elle permet encore parfaitement l'exploitation ; on y rencontre surtout des remplissages formés de blocs minéralisés à la surface et cimentés par des silicates nickelifères plus ou moins purs ; la *fig.* 8 de la Pl. XII représente un aspect assez fréquent dans ce gite.

Les autres gisements exploités à Canala sont fort irréguliers ; ils se rapprocheraient davantage du type de la mine des Bornets, mais ils ne présentent aucun caractère typique sur lequel il y ait lieu d'insister ici ; il en est de même de ceux qui sont exploités dans le massif qui domine la baie Ouango, soit par la société le Nickel, soit par une entreprise particulière dont les travaux débutaient au moment de notre passage.

Dans la vallée de la rivière de Kouaoua, qui s'ouvre au milieu de la formation serpentineuse sur une assez grande longueur, soit 7 kilomètres environ pour la rive droite et 10 kilomètres pour la rive gauche, le nickel se montre en quantité considérable, et souvent avec une belle richesse, sur un grand nombre de contreforts. L'exploitation y a débuté sur le massif le plus voisin de la mer, entre la rivière de Kouaoua et la Kagenjou, avec les mines la Dorée, la Loire, etc..., et elle a produit jusqu'à 14.000 tonnes par an (en 1894) ; après

l'épuisement des ressources faciles à atteindre sur ce massif, l'exploitation a été reportée sur la montagne Méfao, située en face sur l'autre rive de la rivière de Kouaoua. Épuisée à son tour, la mine Méfao a dû être remplacée par les différentes mines (Irlandaise, Woolloomooloo, Toucamboï, etc...) que l'on vient d'ouvrir au fond de la vallée et sur la rive gauche de la rivière, à la suite de la création des moyens nécessaires pour le transport des minerais jusqu'à la mer. Ce travail vient seulement d'être terminé; aussi le groupe de Kouaoua n'a-t-il produit, en 1901, que 3.390 tonnes, mais a-t-il, pendant le premier semestre de 1902, élevé sa production jusqu'à 8.500 tonnes environ.

Sur les massifs situés à l'entrée de la vallée, on paraît avoir exploité, autant qu'il est possible d'en juger aujourd'hui, des remplissages à caractère souvent terreux, mais où apparaissaient aussi des plaquettes de minerai vert ou chocolat : le tout se rencontrait au milieu de blocs éboulés et dans les anfractuosités des têtes en place d'une péridotite d'un aspect un peu spécial. Dans cette roche, dont nous avons cependant déjà trouvé des types voisins à Canala, la masse de l'olivine serpentinisée est remplie de petites lamelles brunes à éclat un peu cireux de bronzite, ce qui donne à l'ensemble une coloration foncée avec esquilles jaune brun ; d'autre part, au voisinage des parties nickelifères, des enduits très minces légèrement bleutés sont fréquents dans les cassures, d'ailleurs très inégales, de la roche, et contribuent à lui donner un aspect particulier; la coloration brune de l'ensemble correspond à une richesse assez notable en fer.

La mine *la Loire* s'est développée entre les altitudes de 100 et 150 mètres sur un des contreforts inférieurs d'un massif, sur les pentes duquel se trouvait également, entre 400 et 450 mètres d'altitude, le gisement de

la mine *la Dorée*, et sur les crêtes duquel ont été faits, entre 550 et 650 mètres d'altitude, les quelques travaux des mines *le Loiret* et *le Béarn :* les gisements affectaient ici nettement la forme de traînées d'une certaine largeur s'étalant à la surface des contreforts, dans lesquelles la minéralisation, qui se poursuit sur quelques mètres (6, 8, 10 mètres, parfois même 15 ou 20 mètres) à partir de la surface, semble avoir pénétré de l'extérieur vers le massif, comme si des solutions nickelifères avaient imbibé toutes les parties poreuses, remplissage terreux, surface extérieure plus ou moins altérée des blocs, etc., et avaient en outre déposé dans les vides qu'elles rencontraient des concrétions plus ou moins abondantes. Partout, lorsqu'on a cherché à s'enfoncer plus profondément au flanc de la montagne, on a vu la minéralisation diminuer rapidement ; quelques filonnets verts paraissaient bien se prolonger plus avant dans les fissures de la roche, mais les remplissages terreux, qui fournissaient le minerai le plus abondant et le plus facile à exploiter, diminuaient en raison de la diminution de l'importance des vides subsistant au milieu des blocs en place, en même temps que leur teneur en nickel s'abaissait et que la magnésie tendait à devenir dominante.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés, il aurait été extrait de la mine la Loire une trentaine de mille tonnes de minerai à teneur moyenne de 7 1/2 p. 100 ; il en aurait été exploité 20.000 à 25.000 tonnes sur la mine la Dorée.

Le gisement situé en face, et qui constitue la mine *Méfao*, présentait les mêmes caractères généraux ; on voit, s'étageant entre 400 et 300 mètres d'altitude, les gradins d'une série de carrières aujourd'hui abandonnées, dessinant une traînée minéralisée, que l'on n'a nulle part pu suivre un peu profondément dans le flanc de la montagne : l'exploitation a dû en être interrompue, faute de

minerai suffisamment riche, après avoir fourni environ 25.000 tonnes. Dans ce gisement, comme d'ailleurs aux mines la Dorée et la Loire, on trouvait, à côté des zones à terres et poussières suffisamment riches, des matières de même nature et d'aspect peu différent dont la teneur en nickel s'abaissait progressivement; aussi n'a-t-on pas été, au cours de l'exploitation, sans remuer des quantités importantes de minerai à 5 et 6 p. 100, abandonnées sur place, et sans en laisser intactes, à côté des chantiers, des quantités plus importantes encore, que l'on ne pouvait exploiter faute de débouchés pour des minerais de telles teneurs.

Les mines actuellement exploitées au fond de la vallée de la rivière de Kouaoua sont à peu près du même type, constituant ici ou là entre les cotes 200 et 550 environ, sur les différents contreforts et croupes qui descendent vers l'Est du massif du Mé-Moa, une série de traînées, dont l'étendue paraît généralement assez restreinte, et sur lesquelles étaient répartis, au moment de notre passage, cinq ou six groupes de carrières produisant environ 1.500 tonnes par mois. Dans la plupart de ces groupes, l'exploitation se poursuit, sans pouvoir d'ailleurs s'enfoncer de plus de quelques mètres dans la montagne, au milieu de blocs détachés de serpentine, noyés, comme cela paraît avoir été le cas général pour les autres mines de Kouaoua, dans des matières poudreuses et terreuses, souvent jaune pâle, d'autres fois plus rouges, et assez exceptionnellement verdâtres, qui, bien triées, ont dans l'ensemble une teneur atteignant 7 à 7 1/2 p. 100; il en est de même des croûtes friables, également de couleur claire, qui recouvrent les blocs. L'exploitation comporte dès lors l'enlèvement des argiles rouges de recouvrement, qui sont généralement de faible épaisseur, puis l'abatage, uniquement au pic et à la pince, des blocs serpentineux naturellement détachés. On procède ensuite à

un triage assez minutieux du minerai, « piquant » les gros blocs pour en détacher une enveloppe désagrégée et minéralisée de quelques centimètres d'épaisseur, et recueillant toutes les matières pulvérulentes, après y avoir passé d'abord le râteau pour en enlever par un procédé expéditif les éléments de quelque dimension; tout ce qui n'est pas entraîné par le rateau est minerai, tandis que la pierraille qu'il ramène est triée à la main, fournissant le plus souvent peu de fragments utilisables. Cependant, dans quelques-unes des carrières que, ni le relief du terrain autour d'elles, ni la nature des roches, ne paraissent différencier d'une façon nette, les enduits compacts de silicate vert sur les blocs et les fragments de péridotite apparaissent plus nombreux, généralement aux dépens de la minéralisation des terres. Le rendement de ces diverses carrières est très variable de l'une à l'autre et même d'un point à l'autre d'un même chantier : ici (tel était le cas d'un groupe de chantiers de la mine Florentine au moment de notre passage), il suffit d'abattre [illegible] à 5 mètres cubes de rocher pour en extraire 1 mètre cube soit en moyenne 1.300 kilogrammes, de bon minerai; là au contraire, c'est 8 ou 10 mètres cubes de stérile au milieu desquels on arrive seulement à recueillir la même quantité de minerai.

A côté des exploitations poursuivies par la société le Nickel sur la côte Est, on en compte, le long de cette même côte, trois plus au Sud, et quelques-unes vers le Nord. Celles du Sud sont celles des mines *Puy-de-Dôme* et *les Roches* sur la rivière de Ni non loin de Kouakoné, et de la mine *Prise-de-Bœuf* dans la vallée de la rivière To-N'Deu : étant donnée l'absence de voies de communication de cette région, qui n'est accessible que par mer et dont les rivages passent pour assez dangereux, ce qui entraine à la fois des difficultés d'approvisionnement, de

recrutement de main-d'œuvre, d'expédition du minerai, etc..., on n'y a jusqu'ici mis en exploitation, parmi les nombreux gisements de nickel qui y ont été signalés et sur les surfaces considérables qui sont couvertes par des concessions ou demandes de concessions, que les affleurements les plus beaux fournissant facilement des minerais riches : ce sont les mines de cette région qui produisaient, au moment de notre séjour, les minerais les plus riches de la colonie : la mine les Roches en particulier faisait des livraisons à la teneur de 11 à 12 p. 100 de nickel. Les frais de transport et les différents frais accessoires rendent en effet plus avantageux de n'expédier par an qu'un petit nombre de milliers de tonnes de minerai riche plutôt qu'une quantité double, ou plus que double, d'un minerai légèrement appauvri par l'addition de déblais, qui sont aujourd'hui considérés comme stériles, mais qui ont encore une teneur de 5 ou 6 p. 100.

Ces gisements, quelque peu exceptionnels aujourd'hui, paraissent encore appartenir au type de ceux qui ont été exploités au début dans d'autres points de la colonie. Le croquis qui est reproduit par la *fig.* 1 de la Pl. XIII, et que nous avons relevé au front d'avancement de l'un des chantiers de la mine Prise-de-Rivoa, à la cote 480, sur un massif dominant presque à pic la vallée de la To-N'Deu, donnera une idée de ce que sont les plus belles parties d'un tel gisement : sur la droite du chantier, le massif de péridotite est coupé par un plan de fracture ou de glissement net recouvert d'un glacis de silicate vert, qui se prolonge sur une certaine épaisseur dans la roche par une série d'incrustations du même minerai dans les fentes de celle-ci. Entre cette paroi d'une part, et soit le manteau d'argile rouge superficielle, soit d'autres têtes de péridotite stériles d'autre part, se développe, sur une largeur atteignant jusqu'à 2 mètres, une brèche essentiellement cons-

magma bréchoïde formé à la fois de fragments plus petits de serpentine altérée, de terre argileuse et de minerais divers, soit concrétions de silicate vert ou chocolat, soit masses terreuses.

Le tout est aisément abattu à la pince et au pic; les blocs volumineux sont ensuite soigneusement dépouillés des croûtes friables qui les entourent, et qui sont constituées, pour une part, de minerais déposés en minces enduits sur les blocs et, pour l'autre part, de serpentine altérée et minéralisée; quant aux fragments plus petits, mais encore assez gros, ils sont triés suivant leur aspect plus ou moins altéré, quelquefois ils sont déshabillés de leurs enduits à la manière des gros blocs; enfin tous les petits débris de roche, les écailles de minerai, les poussières et les terres sont conservés. Nous devons d'ailleurs faire observer que ce fait que l'on n'est pas obligé d'employer la poudre pour l'abatage fait que tous les fragments un peu petits que l'on rencontre avaient naturellement de telles dimensions, et se trouvent de ce fait suffisamment minéralisés pour pouvoir être conservés; au contraire, lorsque, dans d'autres gisements, on emploie les explosifs, ceux-ci fragmentent les roches inaltérées et stériles, de telle manière qu'il faut procéder au triage à la main jusqu'à une dimension beaucoup plus faible. Préalablement à l'exploitation, on a soin d'enlever les argiles rouges de recouvrement ainsi que celles qui ont pu se déposer entre les blocs et qui sont généralement demeurées stériles ou à peu près; enfin, au cours même de l'exploitation, les remplissages de certaines poches, particulièrement argileux ou magnésiens, sont, soit rejetés au stérile, soit tout au moins mis de côté pour être analysés afin de reconnaître s'ils peuvent être incorporés ou non dans le minerai.

Les croquis reproduits par les *fig.* 5 et 6 de la Pl. XII, et que nous avons relevés à l'un des chantiers de la mine

des Bornets, pourront donner une idée de ce que sont les minerais très complexes qu'on y exploite, et de la façon dont ils se présentent. Bien que l'apparence de tels chantiers soit beaucoup moins engageante que celle des bons chantiers du Plateau de Thio, et que les quantités un peu notables de beau minerai vert ne s'y présentent qu'exceptionnellement, le rendement de ces chantiers est beaucoup plus élevé, puisqu'on ne produit guère que 8 mètres cubes de stérile abattu pour 1 mètre cube, soit 1.200 à 1.300 kilogrammes, de minerai, et que, d'autre part, l'abatage peut y être fait à l'aide de la pince et de la pioche, au lieu d'exiger l'emploi des explosifs; aussi la production individuelle par ouvrier occupé à l'abatage est-elle à la mine des Bornets plus du double de ce qu'elle est au Plateau. L'éloignement de la mine par rapport à la mer a d'ailleurs exigé la création de voies de transport économiques : un transporteur aérien permet de descendre le minerai depuis les carrières jusqu'au bord de la rivière de Thio, et un chemin de fer de 10 kilomètres de développement le conduit ensuite au point d'embarquement. La mine des Bornets produit actuellement de 1.600 à 1.800 tonnes de minerai par mois, et les carrières ouvertes aujourd'hui ont encore pour la plupart des quantités importantes de minerai devant elles. D'autre part des affleurements, dont le caractère parait aussi satisfaisant que celui des affleurements sur lesquels ont été ouverts les travaux que nous avons vus, se rencontrent encore en nombre de points du puissant massif montagneux auquel appartient le contrefort sur lequel a lieu aujourd'hui l'exploitation.

Nous ajouterons, pour en finir avec la région de Thio, que la minéralisation ne se limite pas aux quelques massifs sur lesquels se poursuivent les exploitations actuelles, et que plusieurs autres mines ont été exploitées, avec un certain succès, soit sur la rive gauche de la rivière de

Thio à l'amont du Plateau, soit sur la rive droite entre la rivière Nembrou et le rivage. La *fig.* 1 de la Pl. XII indique d'ailleurs la distribution autour de Thio des exploitations actuelles et des différents périmètres miniers.

Les exploitations de la société le Nickel à Canala sont beaucoup moins importantes que celles de Thio, puisqu'elles n'ont produit, en 1901, que 5.800 tonnes, et que leur activité n'avait été que légèrement accrue au début de 1902; elles se partageaient en trois groupes au moment de notre visite : celui de la mine Boa-Kaine (production mensuelle 250 tonnes), celui de la carrière du Sapin et des carrières voisines (production mensuelle 250 tonnes), situés l'un et l'autre dans le massif qui s'élève sur la rive gauche de la Négropo entre celle-ci et l'affluent qu'elle reçoit au voisinage immédiat de son embouchure, et enfin le groupe des mines Paulat et Kraisker, sur la rive droite de la rivière Ouen-Ouango (production mensuelle 100 tonnes).

La première de ces exploitations est constituée par diverses carrières ouvertes çà et là sur des affleurements plus ou moins riches ; elle comprend en outre des glanages tout autour de l'ancienne exploitation du célèbre filon de la *Boa-Kaine*. Ce gisement est l'un des deux premiers qui aient été exploités dans la colonie : signalé dès l'abord à l'attention des explorateurs par un énorme glacis d'un vert vif, qui n'était qu'un enduit silicaté sur une des épontes mise à nu par l'érosion de son remplissage friable, à une époque où l'on ne soupçonnait pas la nature de cette coloration, il a été mis en exploitation à la fin de 1875, sitôt que la véritable composition et la valeur des minerais verts de nickel fut bien connue. Des travaux souterrains assez développés y ont été poursuivis d'abord de la fin de 1875 à 1878, puis de 1879 à 1881 ; ils auraient produit environ 8.000 tonnes de minerai d'une teneur de 12 à 14 p. 100. La *fig.* 7 de la Pl. XII représente ces anciens

travaux en plan et en coupe, et donne une idée assez nette de l'allure du gîte, qui paraît bien être une allure filonienne; le filon a, comme on le voit, été suivi sur une longueur dépassant 150 mètres, et sur une hauteur verticale de plus de 100 mètres entre les cotes 190 et 300 environ; il paraît d'ailleurs se perdre complètement en profondeur. Arrêtée au moment de la première crise du nickel, l'exploitation a été reprise, toujours souterrainement, de 1891 à 1894, et a pu encore être menée avec profit, grâce à la possibilité d'utiliser des minerais notablement moins riches qu'au début. Enfin, après la deuxième crise, la société le Nickel y a repris, en 1898, les travaux qui se poursuivent depuis lors à ciel ouvert et dont l'objet est de rechercher, soit dans le filon même, soit dans ses épontes, les minerais trop pauvres, ou censés tels à l'époque, pour avoir été pris autrefois; on en extrait encore couramment aujourd'hui des minerais servant à enrichir ceux des carrières voisines, c'est-à-dire tenant de 7 1/2 à 8 0/0 de nickel; il faut d'ailleurs, en moyenne, remuer 10 mètres cubes de déblais pour obtenir une tonne de minerai. Ce que l'on exploite est constitué, pour une large part, par le remplissage même du filon, qui avait été laissé lorsqu'il s'appauvrissait en silicate vert bien net: ce sont des masses bréchoïdes contenant, avec des blocs stériles, des sortes de conglomérats de petits fragments de serpentine empâtés dans des silicates verts, fréquemment teintés de bleu violacé, qui dans l'ensemble ont encore des teneurs de 7 à 8 p. 100 jugées insuffisantes autrefois; aussi retrouve-t-on par places dans le filon, souvent puissant de 3 à 4 mètres, une galerie, de 60 à 80 centimètres de large tout au plus, ayant suivi le long d'une des épontes des plaquettes riches plus ou moins abondantes, mais ayant négligé systématiquement les minerais que nous venons de définir et parfois en outre, soit au milieu d'eux, soit sur l'autre éponte, de riches filonnets de minerai vert ou chocolat. Enfin les

Thio à l'... premiers mineurs avaient laissé intactes les épontes la riv... sont souvent minéralisées à 6 et 8 p. 100 de nickel indi... une épaisseur atteignant plusieurs décimètres, épaiss tat... qui semble, comme nous l'avons déjà mentionné, d'au plus importante que la cassure où ont circulé les e chargées de nickel était plus large et offrait à ces e un passage plus facile et demeuré plus longtemps ouv A côté de ce filon principal, dit « filon anglais », il ex dans le massif nombre d'autres cassures, souvent d' assez belle largeur, où la minéralisation s'est trou moins riche que dans celui-ci, mais où elle permet core parfaitement l'exploitation; on y rencontre sur des remplissages formés de blocs minéralisés à la surf et cimentés par des silicates nickelifères plus ou m purs; la *fig*. 8 de la Pl. XII représente un aspect assez quent dans ce gîte.

Les autres gisements exploités à Canala sont irréguliers; ils se rapprocheraient davantage du type la mine des Bornets, mais ils ne présentent aucun car tère typique sur lequel il y ait lieu d'insister ici; il est de même de ceux qui sont exploités dans le ma qui domine la baie Ouango, soit par la société le Nic soit par une entreprise particulière dont les trav débutaient au moment de notre passage.

Dans la vallée de la rivière de Kouaoua, qui s'ouvre milieu de la formation serpentineuse sur une as grande longueur, soit 7 kilomètres environ pour la r droite et 10 kilomètres pour la rive gauche, le nicke montre en quantité considérable, et souvent avec belle richesse, sur un grand nombre de contrefo L'exploitation y a débuté sur le massif le plus voisin la mer, entre la rivière de Kouaoua et la Kagen avec les mines la Dorée, la Loire, etc..., et elle a p duit jusqu'à 14.000 tonnes par an (en 1894); ap

l'épuisement des ressources faciles à atteindre sur ce massif, l'exploitation a été reportée sur la montagne Méfao, située en face sur l'autre rive de la rivière de Kouaoua. Épuisée à son tour, la mine Méfao a dû être remplacée par les différentes mines (Irlandaise, Woolloomooloo, Toucamboï, etc...) que l'on vient d'ouvrir au fond de la vallée et sur la rive gauche de la rivière, à la suite de la création des moyens nécessaires pour le transport des minerais jusqu'à la mer. Ce travail vient seulement d'être terminé; aussi le groupe de Kouaoua n'a-t-il produit, en 1901, que 3.390 tonnes, mais a-t-il, pendant le premier semestre de 1902, élevé sa production jusqu'à 8.500 tonnes environ.

Sur les massifs situés à l'entrée de la vallée, on paraît avoir exploité, autant qu'il est possible d'en juger aujourd'hui, des remplissages à caractère souvent terreux, mais où apparaissaient aussi des plaquettes de minerai vert ou chocolat : le tout se rencontrait au milieu de blocs éboulés et dans les anfractuosités des têtes en place d'une péridotite d'un aspect un peu spécial. Dans cette roche, dont nous avons cependant déjà trouvé des types voisins à Canala, la masse de l'olivine serpentinisée est remplie de petites lamelles brunes à éclat un peu cireux de bronzite, ce qui donne à l'ensemble une coloration foncée avec esquilles jaune brun ; d'autre part, au voisinage des parties nickelifères, des enduits très minces légèrement bleutés sont fréquents dans les cassures, d'ailleurs très inégales, de la roche, et contribuent à lui donner un aspect particulier; la coloration brune de l'ensemble correspond à une richesse assez notable en fer.

La mine *la Loire* s'est développée entre les altitudes de 100 et 150 mètres sur un des contreforts inférieurs d'un massif, sur les pentes duquel se trouvait également, entre 400 et 450 mètres d'altitude, le gisement de

la mine *la Dorée*, et sur les crêtes duquel ont été faits, entre 550 et 650 mètres d'altitude, les quelques travaux des mines *le Loiret* et *le Béarn* : les gisements affectaient ici nettement la forme de trainées d'une certaine largeur s'étalant à la surface des contreforts, dans lesquelles la minéralisation, qui se poursuit sur quelques mètres (6, 8, 10 mètres, parfois même 15 ou 20 mètres) à partir de la surface, semble avoir pénétré de l'extérieur vers le massif, comme si des solutions nickelifères avaient imbibé toutes les parties poreuses, remplissage terreux, surface extérieure plus ou moins altérée des blocs, etc., et avaient en outre déposé dans les vides qu'elles rencontraient des concrétions plus ou moins abondantes. Partout, lorsqu'on a cherché à s'enfoncer plus profondément au flanc de la montagne, on a vu la minéralisation diminuer rapidement ; quelques filonnets verts paraissaient bien se prolonger plus avant dans les fissures de la roche, mais les remplissages terreux, qui fournissaient le minerai le plus abondant et le plus facile à exploiter, diminuaient en raison de la diminution de l'importance des vides subsistant au milieu des blocs en place, en même temps que leur teneur en nickel s'abaissait et que la magnésie tendait à devenir dominante.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés, il aurait été extrait de la mine la Loire une trentaine de mille tonnes de minerai à teneur moyenne de 7 1/2 p. 100 ; il en aurait été exploité 20.000 à 25.000 tonnes sur la mine la Dorée.

Le gisement situé en face, et qui constitue la mine *Méfao*, présentait les mêmes caractères généraux ; on voit, s'étageant entre 400 et 300 mètres d'altitude, les gradins d'une série de carrières aujourd'hui abandonnées, dessinant une trainée minéralisée, que l'on n'a nulle part pu suivre un peu profondément dans le flanc de la montagne : l'exploitation a dû en être interrompue, faute de

minerai suffisamment riche, après avoir fourni environ 25.000 tonnes. Dans ce gisement, comme d'ailleurs aux mines la Dorée et la Loire, on trouvait, à côté des zones à terres et poussières suffisamment riches, des matières de même nature et d'aspect peu différent dont la teneur en nickel s'abaissait progressivement; aussi n'a-t-on pas été, au cours de l'exploitation, sans remuer des quantités importantes de minerai à 5 et 6 p. 100, abandonnées sur place, et sans en laisser intactes, à côté des chantiers, des quantités plus importantes encore, que l'on ne pouvait exploiter faute de débouchés pour des minerais de telles teneurs.

Les mines actuellement exploitées au fond de la vallée de la rivière de Kouaoua sont à peu près du même type, constituant ici ou là entre les cotes 200 et 550 environ, sur les différents contreforts et croupes qui descendent vers l'Est du massif du Mé-Moa, une série de trainées, dont l'étendue parait généralement assez restreinte, et sur lesquelles étaient répartis, au moment de notre passage, cinq ou six groupes de carrières produisant environ 1.500 tonnes par mois. Dans la plupart de ces groupes, l'exploitation se poursuit, sans pouvoir d'ailleurs s'enfoncer de plus de quelques mètres dans la montagne, au milieu de blocs détachés de serpentine, noyés, comme cela paraît avoir été le cas général pour les autres mines de Kouaoua, dans des matières poudreuses et terreuses, souvent jaune pâle, d'autres fois plus rouges, et assez exceptionnellement verdâtres, qui, bien triées, ont dans l'ensemble une teneur atteignant 7 à 7 1/2 p. 100; il en est de même des croûtes friables, également de couleur claire, qui recouvrent les blocs. L'exploitation comporte dès lors l'enlèvement des argiles rouges de recouvrement, qui sont généralement de faible épaisseur, puis l'abatage, uniquement au pic et à la pince, des blocs serpentineux naturellement détachés. On procède ensuite à

un triage assez minutieux du minerai, « piquant » les gros blocs pour en détacher une enveloppe désagrégée et minéralisée de quelques centimètres d'épaisseur, et recueillant toutes les matières pulvérulentes, après y avoir passé d'abord le râteau pour en enlever par un procédé expéditif les éléments de quelque dimension; tout ce qui n'est pas entraîné par le râteau est minerai, tandis que la pierraille qu'il ramène est triée à la main, fournissant le plus souvent peu de fragments utilisables. Cependant, dans quelques-unes des carrières que, ni le relief du terrain autour d'elles, ni la nature des roches, ne paraissent différencier d'une façon nette, les enduits compacts de silicate vert sur les blocs et les fragments de péridotite apparaissent plus nombreux, généralement aux dépens de la minéralisation des terres. Le rendement de ces diverses carrières est très variable de l'une à l'autre, et même d'un point à l'autre d'un même chantier : ici (tel était le cas d'un groupe de chantiers de la mine Florentine au moment de notre passage), il suffit d'abattre 4 à 5 mètres cubes de rocher pour en extraire 1 mètre cube, soit en moyenne 1.300 kilogrammes, de bon minerai; là, au contraire, c'est 8 ou 10 mètres cubes de stérile au milieu desquels on arrive seulement à recueillir la même quantité de minerai.

A côté des exploitations poursuivies par la société le Nickel sur la côte Est, on en compte, le long de cette même côte, trois plus au Sud, et quelques-unes vers le Nord. Celles du Sud sont celles des mines *Puy-de-Dôme* et *les Roches* sur la rivière de Ni non loin de Kouakoué, et de la mine *Prise-de-Biroa* dans la vallée de la rivière To-N'Deu : étant donnée l'absence de voies de communication de cette région, qui n'est accessible que par mer et dont les rivages passent pour assez dangereux, ce qui entraîne à la fois des difficultés d'approvisionnement, de

recrutement de main-d'œuvre, d'expédition du minerai, etc..., on n'y a jusqu'ici mis en exploitation, parmi les nombreux gisements de nickel qui y ont été signalés et sur les surfaces considérables qui sont couvertes par des concessions ou demandes de concessions, que les affleurements les plus beaux fournissant facilement des minerais riches : ce sont les mines de cette région qui produisaient, au moment de notre séjour, les minerais les plus riches de la colonie : la mine les Roches en particulier faisait des livraisons à la teneur de 11 à 12 p. 100 de nickel. Les frais de transport et les différents frais accessoires rendent en effet plus avantageux de n'expédier par an qu'un petit nombre de milliers de tonnes de minerai riche plutôt qu'une quantité double, ou plus que double, d'un minerai légèrement appauvri par l'addition de déblais, qui sont aujourd'hui considérés comme stériles, mais qui ont encore une teneur de 5 ou 6 p. 100.

Ces gisements, quelque peu exceptionnels aujourd'hui, paraissent encore appartenir au type de ceux qui ont été exploités au début dans d'autres points de la colonie. Le croquis qui est reproduit par la *fig.* 1 de la Pl. XIII, et que nous avons relevé au front d'avancement de l'un des chantiers de la mine Prise-de-Rivoa, à la cote 480, sur un massif dominant presque à pic la vallée de la To-N'Deu, donnera une idée de ce que sont les plus belles parties d'un tel gisement : sur la droite du chantier, le massif de péridotite est coupé par un plan de fracture ou de glissement net recouvert d'un glacis de silicate vert, qui se prolonge sur une certaine épaisseur dans la roche par une série d'incrustations du même minerai dans les fentes de celle-ci. Entre cette paroi d'une part, et soit le manteau d'argile rouge superficielle, soit d'autres têtes de péridotite stériles d'autre part, se développe, sur une largeur atteignant jusqu'à 2 mètres, une brèche essentiellement cons-

tituée de silicate vert riche cimentant des fragments généralement petits de péridotite, fragments qui se trouvent bleuis à la surface et assez profondément minéralisés ; ce ne sont dès lors, au milieu de cette brèche, que les rares morceaux rocheux un peu gros qui sont à rejeter. L'exploitation comprend simplement l'abatage, puis le cassage au marteau, du minerai; tout ce qui est silicate de nickel ou péridotite suffisamment minéralisée se réduit en petits morceaux, tandis que les fragments rocheux, restés assez frais pour être stériles, conservent des dimensions plus considérables ; ils sont alors éliminés à la main. Dans d'autres chantiers, on suit des cassures moins puissantes, mais toutes tapissées de concrétions de minerai vert ou chocolat.

Tout autre est le type des minerais qu'il nous reste à mentionner encore sur la côte Est, c'est-à-dire ceux qui sont exploités autour de la baie de Poro ; trois mines y étaient en activité au moment de notre passage : la mine Paragraphe sur la crête qui sépare la vallée de la rivière de Kua et celle de la rivière de Poro, la mine Fathma sur un mamelon isolé de cette dernière vallée, et la mine Française sur les hauteurs qui dominent vers l'Ouest la baie de Poro, et qui la séparent du bassin de la rivière Kamoui : la *fig.* 2 de la Pl. XIII en figure la disposition en amphithéâtre au-dessus de la baie de Poro : nous y avons indiqué également la mine Méeorouma, située sur la même crête que la première et qui appartient au même amphithéâtre ; elle est inexploitée aujourd'hui, nous mentionnerons néanmoins ici les observations que nous y avons faites, parce qu'elles complètent celles qui sont relatives aux mines actuellement exploitées.

La mine *Paragraphe* s'étend de part et d'autre d'une crête, élevée de 300 mètres environ au-dessus de la vallée, et fort étroite, puisque les anciens travaux de la

mine immédiatement voisine, la mine Melbourne, ont percé cette crête de part en part. Les travaux actuels s'étagent surtout vers la vallée de la rivière de Kua; plusieurs de leurs chantiers se développent dans des formations bréchoïdes, autour de blocs superficiels de péridotite d'un type qui diffère peu de ce que nous avons eu l'occasion de décrire maintes fois, mais où les concrétions de silicate vert et de minerai chocolat sont nombreuses; ces chantiers sont d'ailleurs irréguliers, généralement étroits, suivant seulement les trainées les plus richement minéralisées. Dans deux ou trois d'entre eux apparaissent des pointements de péridotite décomposée avec cloisonnements de silicate vert, type de minerai spécial dont nous avons déjà fait mention et que nous retrouverons dans les mines voisines; à la mine Paragraphe, ce minerai est généralement laissé de côté, sa teneur dépassant rarement 6 p. 100, et l'exploitant préférant ici aussi, en raison des frais de transport, expédier de petites quantités (400 ou 500 tonnes par mois) de minerai assez riche (8 à 9 p. 100), plutôt que de les employer à enrichir des masses à teneur moindre en vue d'augmenter la production de la mine. Il est d'ailleurs à noter qu'au voisinage de ces types spéciaux de minerai, apparaissent des pointements de dunite, roche telle que celle dont nous avons cité ci-dessus l'analyse (page 346), et qui parait être notablement plus nickelifère dans toute sa masse que ne le sont généralement les harzburgites. Ce n'est d'ailleurs, comme nous l'avons déjà dit, certainement pas de dunite que dérive le minerai exceptionnel que nous venons de signaler, puisque l'on distingue à leur clivage net de petits cristaux d'enstatite, aussi bien dans les noyaux encore frais que dans les croûtes altérées de ce minerai.

A la mine *Fathma*, qui se développe dans un petit massif isolé, de 200 mètres d'altitude, aux pentes relativement

douces, situé entre les deux bras de la rivière de Poro, ce dernier type de minerai est assez constant, et c'est avec peine que dans l'ensemble des travaux on peut trouver une ou deux têtes de péridotite stérile, quoique plus ou moins serpentinisée naturellement; la majeure partie du mamelon paraît être constituée, au-dessous d'un épais manteau d'argile rouge, par plusieurs dizaines de mètres de ces roches altérées dites « serpentines damier », que nous avons déjà décrites; leur richesse en nickel est d'ailleurs peu régulière : là le réseau des cloisons de silicate vert (qui, d'ailleurs, peut parfois être assez chargé en silice ou en magnésie pour ne constituer par lui-même qu'un minerai de richesse très moyenne) est fort espacé, et entre ses mailles il subsiste des morceaux de péridotite dont la partie altérée représente trop peu de chose par rapport à l'ensemble de la masse pour qu'on juge avantageux de les abattre et de les trier; ici, au contraire, le réseau des cloisons se resserre suffisamment pour que l'on exploite toute la masse, dont la consistance est d'ailleurs faible, et pour que l'on se contente de passer le tout à un crible grossier, en le secouant énergiquement; les plaquettes silicatées, toujours très fragiles, et la partie altérée friable de la roche traversent le crible et constituent le minerai; les noyaux durs sont rejetés; plus loin, le réseau est si serré que l'expérience, c'est-à-dire le résultat de l'analyse, a montré que toute la masse est bonne à prendre; plus loin encore, c'est sans doute le même processus de décomposition, mais parvenu à un stade plus avancé, qui a donné lieu à une masse jaune rougeâtre sans aucune consistance, mouchetée de petits débris verts, dont l'ensemble a une teneur de 7 à 8 p. 100. On conçoit, dans ces conditions, que l'exploitation soigneusement limitée à de tels minerais, dont on n'a d'ailleurs pas reconnu l'extension, soit aisée et profitable : elle produit de 250 à 300 tonnes par mois. Mentionnons enfin que

la mine Fathma est une de celles où nous avons trouvé du minerai de cobalt (en petite quantité, cela est vrai) au voisinage immédiat du minerai de nickel : dans une poche d'argile rouge au contact du minerai « damier », nous avons recueilli de petites croûtes cobaltifères bleues, reposant, par l'intermédiaire d'un lit de quelques centimètres d'argile seulement, sur une masse de minerai de nickel payant.

Dominant la baie de Poro vers l'Ouest, c'est-à-dire en face de ces deux mines, s'élèvent les hauts contreforts sur lesquels sont situés, entre 300 et 420 mètres d'altitude, les chantiers de la mine *Française*, dont la production mensuelle atteignait 500 tonnes au moment de notre passage. Dans les carrières inférieures, c'est-à-dire dans celles qui s'étagent immédiatement au-dessus de la baie de Poro, le minerai du type « damier » domine; cependant, dans quelques carrières, on a observé que, derrière plusieurs mètres d'épaisseur de cette formation superficielle, on retrouve des blocs serpentineux durs dans les cassures desquels on peut encore exploiter des minerais riches verts ou chocolat. Dans les carrières supérieures de la mine, qui se rapprochent davantage des crêtes qui dominent la vallée du ruisseau Ouia et des tributaires de la Kamoui, ce sont ces derniers types de minerais qui sont les plus fréquents; ils sont exploités par quelques bons chantiers, ouverts très étroitement sur de jolis affleurements, sans chercher à prendre en même temps les parties voisines, qui seraient peut-être utilisables, grâce surtout aux minerais d'enrichissement que l'on trouve là.

Ce qui est la caractéristique des exploitations de Poro, c'est la présence des minerais « damier » en masse; ces mêmes minerais ont autrefois été exploités sur la mine *Mécorouma*; reconnue par galeries souterraines vers 1876, elle a été l'objet, en 1890-91, d'une exploitation à ciel ouvert qui passe pour avoir été très fructueuse et pour

avoir produit couramment des minerais à 13 p. 100 ; aussi avons-nous tenu à la visiter. Située au sommet d'une paroi rocheuse de 600 mètres d'altitude dominant presque à pic, du moins sur les 300 derniers mètres de hauteur, la vallée de la rivière de Kua, tandis que, du côté de Poro, la montagne s'abaisse par des pentes qui sont beaucoup plus douces et se couvrent d'argiles rouges et de blocs ferrugineux, et qui donnent même lieu, dans la saison des pluies, à la formation d'un petit lac, la mine Mécorouma ne montre guère aujourd'hui, dans les différents fronts de taille qui y avaient été ouverts, que des minerais « damier » en grande abondance ; nous ne voulons revenir sur la description de ces minerais que pour ajouter quelques détails.

La roche altérée se rencontre en masses irrégulières au milieu des péridotites stériles, les recouvrant par places, mais d'autres fois paraissant s'enfoncer comme une sorte de colonne plus ou moins nette au milieu de la roche stérile. Nous nous étions demandé, en examinant ce gisement avant de connaître ceux de Poro, si ce type d'altération en masse de la serpentine (qui nous paraissait alors tout à fait spécial, du moins avec ce développement) n'était peut-être pas en relation avec la configuration exceptionnelle de la crête que nous avons mentionnée : celle-ci marque en effet un ressaut brusque au bord d'une sorte de plateau ; elle donne ainsi lieu à un mur le long duquel les eaux se précipitent en cascades et qui paraît devoir appeler à travers la paroi de la roche les eaux du plateau qui, en certains points, n'ont même pas d'écoulement naturel. Les observations ci-dessus rapportées, que nous avons faites ultérieurement à Poro sur des massifs à relief beaucoup moins accusé, montrent qu'il ne faut, en tous cas, pas attacher à cette relation de position une importance exagérée.

Nous avons cherché à nous rendre compte de la distribution de la minéralisation dans les minerais de ce type,

et, à cet effet, nous avons fait doser le nickel dans 5 échantillons recueillis dans les anciens chantiers de la mine Mécorouma parmi ce qu'avait laissé l'ancienne exploitation : le premier était constitué par une péridotite légèrement serpentinisée, mais ne paraissant pas avoir subi d'action minéralisatrice; le deuxième était du type damier, mais à large réseau, et présentait un important noyau paraissant stérile; le troisième appartenait au même type avec réseau beaucoup plus serré et avec absence à peu près complète de noyau réellement stérile; le quatrième était constitué par des plaquettes telles que celles qui forment les réseaux et qui se détachent des précédents échantillons; le cinquième représentait le remplissage d'une cassure un peu plus importante; les teneurs en nickel trouvées ont été respectivement de 0,45 p. 100, — 1,20 p. 100, — 3,71 p. 100, — 6,95 p. 100, — et 8,70 p. 100 : elles correspondent très exactement au degré d'altération que la roche manifestait à l'œil nu; et, s'appliquant à des échantillons tout-venants pris avec soin dans le but de représenter à peu près les teneurs moyennes, elles paraissent indiquer combien il serait aisé d'extraire encore des quantités importantes de minerai à 6 ou 7 p. 100, et des quantités plus considérables encore de minerai à plus faible teneur.

B. — Les gisements exploités sur la côte occidentale.

Des exploitations de nickel s'alignent également le long de la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie, depuis le mont Kaala jusqu'à la vallée de la Dumbéa; elles forment dans la partie Nord de cet alignement un groupe très continu jusqu'à Népoui; l'exploitation de la Dumbéa est, au contraire, complètement isolée aujourd'hui, à l'extrémité méridionale de cette ligne.

Le mont Kaala est un exemple typique de ces massifs

serpentineux isolés qui s'élèvent brusquement de plus de 1.000 mètres au-dessus de la côte Ouest, reposant sur une base de terrains sédimentaires dont la surface légèrement mamelonnée descend en pente relativement douce vers la mer, et présentant assez bien, avec ses parois abruptes dans toutes les directions, l'aspect d'un massif rapporté.

La présence du nickel paraît avoir été constatée sur la plupart d'entre ses différents contreforts, puisque presque toute la surface qu'il occupe, soit environ 6.000 hectares, est recouverte par une série de périmètres miniers ; deux exploitations y sont en activité aujourd'hui : l'une sur le contrefort le plus occidental et l'autre sur l'un des contreforts méridionaux. La première d'entre elles, qui a lieu sur la mine *Etoile-du-Nord*, en est à la période de début des travaux : on y ouvre une série de chantiers entre les cotes 550 et 650 environ ; plusieurs d'entre eux n'étaient au moment de notre passage qu'à peine attaqués, cherchant à suivre ici ou là des traces plus ou moins vertes. Le minerai qui avait été abattu jusque-là était surtout constitué par des masses poudreuses décomposées et par des fragments et enduits verts. Nous avons noté sur cette mine la présence, auprès des têtes rocheuses nickelifères, non seulement d'un peu de minerai de cobalt, mais encore d'un bloc de minerai de chrome du type dit fer chromé « piqué ». En même temps que l'on commençait les travaux d'exploitation de la mine, on achevait la construction des moyens de transport pour le minerai ; ils comprendront essentiellement un grand plan incliné aérien de 1.470 mètres de longueur, rachetant une différence de niveau de 475 mètres, et une petite voie ferrée de 4 kilomètres reliant le pied de ce plan au bord de la mer.

La mine *Kaala*, que l'on rencontre un peu plus à l'Est, présente une minéralisation plus riche : les chantiers où l'on suit, au milieu des blocs plus ou moins déchiquetés de la péridotite, des concrétions vertes épaisses et de belle

teneur, sont assez fréquents ; ces concrétions ont d'ailleurs toujours des allures peu régulières, et nulle part on ne voit de filons nets ; mais dans certains chantiers nous avons observé l'indication de sortes de cheminées où semblent avoir circulé les eaux minéralisantes, donnant lieu à des concrétions ici plus ou moins stalactiformes, là à structure en nid d'abeille. Mais, à côté de ces minerais bien définis, on exploite quelques masses de ces serpentines altérées nickelifères de couleur claire et de consistance cireuse, spéciales aux gisements de la côte Ouest, que nous avons décrites ci-dessus. Elles apparaissent ici en masses présentant souvent des dimensions de plusieurs mètres, parfois même de plusieurs dizaines de mètres dans tous les sens, qui se montrent au milieu des produits décomposés plus ou moins friables, et qui tranchent sur ceux-ci par une apparente homogénéité et par une certaine consistance. C'est de la mine Kaala que provenait l'échantillon à teneur de 18,3 p. 100 à sec, dont nous avons donné l'analyse ci-dessus (p. 380) ; rappelons cependant que de tels minerais ont le sérieux inconvénient de retenir beaucoup d'humidité, ce qui augmente le poids mort à transporter. Au point de vue des transports du minerai, la mine Kaala se trouve dans des conditions tout à fait analogues à la précédente, dominant la mer de plus de 600 mètres, et située à une distance horizontale de 6 kilomètres seulement du rivage.

Mentionnons encore que l'un des contreforts orientaux du Kaala a été le siège d'une troisième exploitation, celle de la mine *Asie*, qui s'est poursuivie en 1899 et 1900 aux environs de 1.000 mètres d'altitude. Les minerais que l'on y rencontrait étaient, paraît-il, presque uniquement constitués par des silicates verts en filonnets et concrétions, qu'il fallait aller chercher au milieu de blocs d'un abatage coûteux ; d'autre part, les frais de transport, tant par de simples câbles aux pentes très raides qui donnaient lieu à

de fréquentes pertes de minerai, qu'ensuite par des chars à bœufs, étaient fort onéreux ; aussi l'exploitation a-t-elle été suspendue après avoir donné lieu à l'extraction de quelque 6.000 tonnes seulement de minerai à 8 p. 100.

Les montagnes serpentineuses, qui font suite au mont Kaala pour constituer la ligne des sommets qui dominent la côte occidentale de l'île, sont les unes et les autres couvertes par des concessions pour nickel : ce sont les deux puissants massifs de l'Homedéboa et du Taom, devant lesquels se dressent les massifs moins importants du Ouazangou, du Ouala et du Tsiba. Seuls les gisements du Ouazangou sont aujourd'hui l'objet d'une exploitation, portant sur le périmètre de la mine *Nouvelle-Espérance* entre les cotes 500 et 600. Les minerais que l'on y rencontre se rapprochent de ceux de la mine Kaala : ce sont tantôt des concrétions vertes dans les fentes de la roche ou dans des sortes de cheminées, et tantôt des produits décomposés, les uns encore consistants, les autres terreux, de tous genres, de toutes couleurs, etc... ; les serpentines claires altérées dans toute leur masse sont ici particulièrement abondantes et présentent une variété de teintes frappante : tandis que les unes sont rose tendre, les autres gris verdâtre, gris jaunâtre ou d'un brun clair, d'autres sont beaucoup plus foncées, et certaines sont recouvertes d'enduits d'un noir bleuté qui rappellent tout à fait les enduits cobaltifères dont nous aurons à faire mention à propos des exploitations de cobalt, et qui en sont en effet, bien que considérées par erreur par les exploitants comme de l'oxyde de nickel (*). Soit que la minéralisation soit ici plus largement étalée qu'à côté, soit que l'exploitation, conduite par les propriétaires du gisement,

(*) Cela ne présente d'ailleurs pas d'importance pratique, parce que, dans les minerais de nickel, le cobalt est toujours dosé et payé comme nickel.

au lieu d'être confiée à des amodiataires, soit poursuivie avec plus de souci de la bonne utilisation de l'ensemble du gîte, les fronts de taille des carrières y sont ouverts sur des étendues beaucoup plus larges, et il semble que l'on tire un meilleur parti de la minéralisation, en somme abondante, du massif. Des plans inclinés aériens, un tramway de 6 kilomètres 1/2 de développement et un petit wharf de 50 mètres de longueur ont été installés pour permettre la descente et l'embarquement du minerai, qui est extrait à raison de près de 20.000 tonnes par an.

Continuant à longer la côte vers le Sud-Est, le voyageur rencontre ensuite l'énorme massif du mont Koniambo, sur lequel sont également répartis un très grand nombre de périmètres miniers : parmi eux, deux seulement sont en exploitation : l'un, celui de la mine *Révélation*, situé dans la partie occidentale du massif, domine Voh ; l'autre, placé vers l'extrémité orientale du même massif, est voisin de Koné, c'est celui de la mine *Katariti*. La première de ces mines n'a été mise en exploitation qu'à la fin de 1901 ; elle n'occupait encore au moment de notre passage que 30 ouvriers avec une production journalière de 30 à 35 tonnes au maximum ; élevée de 550 mètres au-dessus du niveau de la mer, elle donne lieu à l'extraction de minerais du même type que ceux de la mine Nouvelle-Espérance, et les quelques carrières ouvertes paraissent d'aspect assez favorable. Tout autour, d'autres exploitations ont déjà eu lieu, soit en face sur le massif du Katepahié, soit un peu plus à l'Est sur la mine Confiance, soit plus loin encore sur les mines Katariti et Boma.

La mine *Katariti*, encore en pleine exploitation aujourd'hui, mérite une mention spéciale : c'est l'une des plus anciennement exploitées des mines de la région Nord de la côte Ouest : ouverte en 1888, elle a d'abord été l'objet d'une extraction annuelle de 3.000 à 4.000 tonnes de

minerai riche; arrêtée pendant la crise de 1894-97, elle a été reprise depuis, fournissant par an de 10.000 à 20.000 tonnes de minerai à teneur moyenne de 7 à 8 p. 100; au moment de notre passage, elle n'occupait pas moins de quatre-vingts ouvriers, et assurait une production mensuelle de 600 à 800 tonnes, à l'aide d'un nombre relativement restreint de fronts de taille largement développés.

Ces chantiers sont ouverts entre les cotes 230 et 340, sur les pentes d'un contrefort en forme de dôme recouvert de formations d'argile rouge, parfois assez puissantes, sous lesquelles ou à côté desquelles on trouve des traînées de roches décomposées et minéralisées; de nombreux chantiers se développent dans des minerais terreux qui constituent un remplissage abondant autour de blocs éboulés de péridotite; mais les enduits et concrétions sur ces blocs sont fréquents aussi, et nous avons, spécialement ici, noté la présence de péridotites rocheuses dures, ne présentant pas l'aspect décomposé que nous avons si souvent signalé, et toutes bariolées d'enduits fortement colorés, verts, bleus, rouges parfois, qui constituent dans l'ensemble un minerai riche, dans lequel les agents minéralisateurs sembleraient plutôt avoir recimenté la roche que l'avoir désagrégée comme on le constate le plus souvent. Suivant une loi, que nous croyons pouvoir donner comme une loi générale, cette minéralisation diminue lorsque les chantiers s'enfoncent dans le flanc de la montagne, et, tantôt à partir de 15 à 20 mètres d'avancement, tantôt seulement au bout de 40 mètres, la proportion des blocs serpentineux sains et stériles augmente, et les matières qui les empâtent deviennent plus magnésiennes et moins nickelifères. Néanmoins la largeur des chantiers ouverts et la profondeur encore sérieuse sur laquelle ils ont pu être poussés a déjà permis d'extraire, sur un espace qui, en plan, est en somme peu étendu, une soixantaine de mille tonnes de bon minerai.

Le contrefort sur lequel se développent les travaux actuels est dominé par des crêtes rocheuses beaucoup plus abruptes, qui se groupent en deux séries dites « les petites crêtes » et « les grandes crêtes », et qui atteignent respectivement des altitudes de 450 et de 650 mètres. C'est sur ces crêtes qu'avait débuté l'exploitation et qu'avaient été extraits les riches minerais à 11 et 12 p. 100 en moyenne, qui avaient fait autrefois la réputation de la mine Kataviti ; on constate encore aujourd'hui, au front des anciens chantiers abandonnés, l'existence de veinules assez nombreuses de silicates compacts ; la péridotite se montre en têtes d'aspect tout à fait rocheux si escarpées qu'aucun amas de minerai terreux ou de matières décomposées ne pourrait y rester accroché ; ces blocs sont sillonnés de petites fissures dont l'épaisseur varie de un à quelques centimètres, et qui sont remplies ici de garniérite d'aspect typique, là de minerais de même consistance et en tout point de même aspect, sauf que leur couleur est beaucoup plus pâle, tantôt vert d'eau, tantôt même complètement blanche, au point que l'on ne songerait pas à prendre ces matières pour des minerais de nickel si on ne voyait pas la garniérite y passer progressivement ; de tels minerais sont d'ailleurs encore riches : c'est de ce gisement que provenait l'échantillon dont nous avons rapporté l'analyse ci-dessus (p. 370) et qui tenait 9,5 p. 100 de nickel. A ces silicates plus ou moins décolorés s'associent aussi de beaux types de minerai chocolat avec des couleurs variant du brun rouge au brun foncé.

Le groupe des mines de Népoui, qu'il nous reste à décrire pour terminer l'énumération des gisements de nickel exploités dans cette région de la côte Ouest, est situé dans le puissant massif serpentineux qui fait face au Koniambo de l'autre côté de la plaine de Koné-Pouembout ; de ce massif descendent au Nord-Ouest quelques tri-

butaires de la rivière de Pouembout, au Sud la rivière de Népoui et ses différents affluents, et au Sud-Est les tributaires de la rivière Ouha ou rivière de Muéo. C'est par le versant du premier de ces bassins que les exploitations ont débuté sur le mont Kopéto ; elles ont ensuite été reportées sur le versant des tributaires de la rivière de Népoui, dans la vallée de laquelle une voie ferrée a été établie ; les pentes du massif qui descendent vers la rivière de Muéo, bien que couvertes par de nombreux périmètres miniers, n'ont pas encore été exploitées. Grâce au grand nombre de contreforts richement minéralisés groupés tout autour du cirque qui forme le fond de la vallée de Népoui, la création d'une voie ferrée le long de cette vallée a permis de mettre en valeur à la fois un grand nombre de gisements, et d'y développer en quelques années un centre d'exploitation qui est devenu aujourd'hui presque aussi important que celui de Thio, puisqu'il n'a pas fourni moins de 30.000 à 35.000 tonnes de minerai au cours de chacune des trois dernières années, et puisque sa production totale s'est élevée en une dizaine d'années à plus de 150.000 tonnes.

L'exploitation a débuté, nous l'avons dit, sur le flanc du mont Kopéto par les mines *Mont-Vert* et *Mont-Krane* (Voir la *fig.* 3 de la Pl. XIII) en 1891 ; quelques milliers de tonnes de riche minerai vert ont ainsi été descendues dans la vallée de la rivière de Pouembout, et transportées par charrettes à bœufs sur une distance de 15 kilomètres jusqu'au bord de la mer, au prix de 10 à 12 francs par tonne ; c'est dans les mêmes conditions qu'a débuté ensuite l'exploitation de la mine *Reis n°* 1 (Carrières de la Oua-Mango sur le flanc Nord-Ouest du mont Paéoua ou aiguille de Muéo). Durant la crise du nickel, qui avait fait tomber l'exploitation à 6.000 tonnes seulement par an (1896), les travaux de création de 12 kilomètres d'un petit chemin de fer à voie de 60 centimètres, descendant

la vallée de la rivière depuis Népoui jusqu'au bord de la mer, furent poussés activement; ils permirent de reprendre l'exploitation plus largement dès que, en 1897 et 1898, les demandes de minerai recommencèrent. Ce chemin de fer servit d'abord à transporter les minerais descendus à Népoui par des câbles, souvent très nombreux, qui allaient le chercher à 600 et 800 mètres d'altitude sur le flanc du mont Kopéto; il fut ensuite prolongé de 7 kilomètres 1/2 le long de la vallée de la Oua Paéoua ou Péoué, pour chercher au pied même des mines les produits des carrières ouvertes sur les contreforts occidentaux du mont Paéoua. En 1899, un embranchement de 5 kilomètres, porté ensuite à 6 kilomètres 1/2, fut ouvert dans la vallée de la rivière de Népoui (branche orientale) pour mettre en valeur les gisements du flanc Nord du mont Graunda (mine Surprise). Enfin, au moment de notre visite à Népoui, on prolongeait encore cette ligne, toujours en remontant la vallée de la rivière de Népoui, afin d'atteindre la localité de Oua-Té à 13 kilomètres à l'amont de Népoui, et de pouvoir y prendre les produits des carrières ouvertes sur les contreforts orientaux du mont Paéoua, et de celles à ouvrir éventuellement en face, sur le flanc Ouest du massif du mont Boulinda.

La production des mines de Népoui, quelque peu réduite au moment de notre passage, puisqu'elle ne dépassait pas 1.500 tonnes par mois au total, était presque uniquement concentrée sur les carrières du mont Graunda : cependant quelques travaux avaient également lieu au-dessus de Oua-Té, sur le flanc Est du mont Paéoua.

Le premier groupe était divisé en trois séries de carrières réparties sur le périmètre de la mine *Surprise :* les plus importantes de ces carrières, dites carrières Yvette, s'étagent sur les pentes relativement douces par lesquelles le mont Graunda s'abaisse vers un col qui le sépare du massif du mont Boulinda (Voir la *fig.* 3 de la

Pl. XIII) et qui permet de passer de la vallée de la rivière de Népoui à celle de Muéo ; elles ont été ouvertes, sur 75 mètres de verticale environ, entre les cotes 425 et 500, et ont enlevé une sorte de tache minéralisée dont le croquis que reproduit la *fig.* 4 de la Pl. XIII indique à peu près la configuration, et qui atteignait une épaisseur moyenne d'une quinzaine de mètres, permettant l'avancement des gradins sur une profondeur de 25 à 40 mètres comptés horizontalement. La minéralisation s'étendait, comme on le voit, sur 100 à 200 mètres de longueur et a donné lieu à l'ouverture de gradins sur une semblable largeur. Quant au minerai que l'on y rencontrait, il était essentiellement constitué par des remplissages pulvérulents et terreux, tels que ceux que nous avons déjà souvent décrits, se montrant particulièrement abondants au milieu de blocs isolés de péridotite, dont une proportion importante était d'ailleurs transformée en serpentine claire entièrement minéralisée avec teneur de 5 et 6 p. 100 ; aussi a-t-on pu, sur une étendue relativement restreinte, extraire plus de 60.000 tonnes d'un minerai dont la teneur moyenne a été de 6 1/2 à 7 1/2 p. 100. Aujourd'hui cette teneur diminue, et plusieurs carrières ont dû être arrêtées, comme dans tous les gisements de ce type, en raison de la rencontre de matières de même aspect que les minerais précédemment exploités, mais plus riches en magnésie et moins chargées de nickel. La quantité de stérile à remuer au cours de l'exploitation s'est, dans de telles conditions de gisement, toujours montrée faible et, par suite, le rendement des ouvriers occupés sur les carrières a été considérable.

Les pentes plus raides qui descendent de ce même massif vers la rivière de Népoui, et qui sont découpées par les ravins des tributaires de celle-ci, ont donné également lieu à l'ouverture de carrières plus ou moins développées; mais la minéralisation y est beaucoup plus capricieuse : nulle

part, semble-t-il, il n'a pu se conserver un placage de minerai aussi continu et aussi épais que celui des carrières Yvette, et, si on retrouve ici ou là des minerais du même genre, c'est en traînées plus irrégulières ; on rencontre d'ailleurs, à côté de ces minerais terreux, des concrétions de silicate vert ; tel est déjà quelquefois le cas dans les carrières dites du Camp ; mais tel est surtout le cas dans les carrières Colette supérieures où apparaissent des têtes rocheuses fendillées avec filonnets verts irréguliers.

Sur le flanc Est du mont Paéoua (mine *Reis n°* 2), plusieurs carrières (carrières Pierrette et Hélène) étaient en activité au moment de notre passage ; mais elles n'étaient pas encore munies des plans inclinés aériens nécessaires à la descente du minerai, de même que le chemin de fer qui devait desservir les recettes inférieures de ces plans n'était pas achevé ; aussi n'y faisait-on que des travaux ayant plutôt pour objet la reconnaissance des gîtes que leur exploitation active, et laissait-on le minerai produit entassé sur les mines mêmes.

Dans les carrières Pierrette, la péridotite qui, partout ailleurs aux environs de Népoui, appartient aux types serpentinisés courants, présente un aspect exceptionnel : elle est d'une dureté très grande, d'une couleur vert jaune particulièrement claire, à cassure nettement cristalline laissant voir à la fois des clivages d'enstatite parfaitement fraîche et la cassure grenue de la péridotite également inattaquée ; c'est d'ailleurs la roche de ce gisement que nous avons citée ci-dessus (p. 345) comme type de péridotite bien fraîche. A cette fraîcheur spéciale de la roche paraît correspondre un mode de minéralisation particulier, par formation de couches concentriques très régulières et très nettes, toutes différentes de ce que nous avons appelé jusqu'ici les croûtes minéralisées enveloppant les blocs plus ou moins serpentinisés, croûtes qui constituent la surface extérieure des blocs avec pas-

sage graduel des parties les plus altérées aux partie inaltérées, et qui forment une seule zone progressive ment variable et d'épaisseur assez irrégulière. Les couche concentriques altérées que l'on observe ici sont consti tuées par des plaquettes d'un jaune orangé avec point ou stries noirs, séparées les unes des autres par de enduits silicatés verts ; les blocs ainsi altérés superficie lement sont d'ailleurs noyés, ici comme ailleurs, dans un remplissage de poudres rougeâtres ou jaunâtres, plus moins argileuses, où les fragments de minerai vert so assez abondants. Le croquis que reproduit la *fig.* 5 de la Pl. XIII montre la façon dont se représentent ce minerais. On attaque de telles masses au pic et éve tuellement à la pince ; les blocs rocheux se dépouille aisément de leurs croûtes minéralisées et on les rejet ensuite ; on se contente en outre de passer le râte dans les matières pulvérulentes qui sont abattues en mêm temps, afin d'éliminer les fragments rocheux de quelq dimension qui pourraient y subsister. On arrive ainsi extraire environ une tonne de minerai à teneur voisi de 7 p. 100 pour chaque 3 mètres cubes de matièr comptés en place avant l'abatage. Le gisement, tel moins qu'il était reconnu au moment de notre passage, paraît pas être très étendu ; il se développe au flanc d'u montagne escarpée entre les cotes 725 et 825 ; il n'av été à aucun niveau suivi latéralement sur plus de 60 70 mètres, et il ne semblait pas que la minéralisation pe sistât suffisante sur plus d'une quinzaine de mètres com tés horizontalement en s'enfonçant dans le flanc de montagne.

Le groupe des carrières Hélène se trouve à peu près la même altitude sur un des contreforts du mont Paéo voisins vers le Sud de celui des carrières Pierrette occupe une sorte de saillie du contrefort s'étalant a des pentes relativement douces : la minéralisation

montre particulièrement irrégulière et difficile à définir; à côté de blocs d'une péridotite d'aspect légèrement serpentinisé, d'un vert assez foncé, qui sont particulièrement décomposés et minéralisés à leur surface, se trouvent des traînées ou des poches de minerais divers; ici, on rencontre des rognons et concrétions quartzeux, plus ou moins vivement colorés en vert par le nickel, mais de faible teneur; plus loin, c'est une traînée d'une matière magnésienne, à consistance argileuse, d'une couleur vert très pâle, et cependant chargée en nickel (jusqu'à 34 p. 100, comme l'indique l'analyse rapportée ci-dessus, p. 375); là, c'est une petite poche contenant quelques centaines de grammes à peine de ces poudres vertes très riches, dont nous avons donné l'analyse précédemment (p. 373) et qui paraissent appartenir à une espèce minérale particulière. Dans l'ensemble, le rendement des meilleures parties de ce gisement est satisfaisant, mais il paraît très irrégulier comme étendue.

Au fond de la vallée de la rivière Péoué, et sur le massif qui s'avance vers le Sud entre cette vallée et celle de la rivière de Népoui (branche gauche), s'étagent un très grand nombre d'anciennes carrières sur lesquelles se sont principalement poursuivies les exploitations de Népoui dans la période de 1897 à 1900; la *fig.* 3 de la Pl. XIII indique leur répartition. L'examen de ces carrières, aujourd'hui abandonnées, n'est pas sans intérêt : il fait d'abord ressortir combien les traînées minéralisées, les unes particulièrement riches, les autres considérées jusqu'ici comme de richesse moyenne ou même trop faible, sont nombreuses, et comment, lorsque l'on prend la peine de les rechercher avec soin, elles se montrent réparties sur un très grand nombre d'entre les contreforts; cet examen fait voir ensuite combien peuvent être différents les types de minerais que l'on rencontre dans un même massif et à peu de distance en somme les uns des

autres, ces différences s'accompagnant d'ailleurs souvent de différences assez nettes, sinon dans la nature originelle des roches, du moins dans les types d'altération qu'elles font voir. Enfin, lorsque l'on examine les monceaux de déblais rejetés de certaines carrières, comme celle de la Oua-Mango par exemple, on constate sans peine qu'ils sont très nettement minéralisés, et il est aisé de supputer quelles sont les quantités de nickel considérables, plus importantes peut-être que celles que l'on a utilisées, qui ont été ainsi perdues en raison de l'obligation où l'on était de n'expédier que des minerais dont la teneur moyenne dépassât 7 p. 100.

Aux carrières de la Oua-Mango (cotes 580-630), les chantiers ont pu être conduits sur de larges fronts et s'avancer de bon nombre de mètres dans le flanc de la montagne, quelquefois en tournant des piliers relativement stériles; ils ont surtout exploité des croûtes, généralement épaisses, de serpentine jaune sillonnée de plaquettes vertes, entourant les blocs de péridotite; l'aspect de ces croûtes jaune rougeâtre avec des points, des stries, et des taches foncés, plus ou moins régulièrement distribués, les fait comparer par les mineurs à du liège, et désigner sous le nom de « serpentine bouchon »; sauf l'irrégularité de distribution des plaquettes vertes qui la sillonnent, cette serpentine bouchon paraitrait assez analogue au minerai en « damier » de Poro. Il semble ici que l'appauvrissement des minerais, en s'enfonçant dans la montagne, se fasse principalement par substitution de plaquettes quartzeuses aux plaquettes de garniérite disséminées dans ces roches décomposées.

Dans les carrières Paéoua, situées tout à côté, la nature du minerai était peu différente, mais la minéralisation était moins largement étalée : le minerai n'a souvent été suivi que par des fronts de taille étroits, se faufilant entre les parties relativement stériles. Plus haut,

les carrières du Sapin, entre les cotes 800 et 900, ont également été conduites d'une façon fort irrégulière ; les minerais du type ci-dessus y alternent avec des minerais voisins de ceux que nous avons signalés dans les carrières Pierrette ; on y rencontre aussi quelques filonnets verts et chocolat.

Plus au Sud, une série de carrières se développant sur des crêtes secondaires ou sur des contreforts du mont Paéoua, n'ont donné lieu qu'à des tentatives d'exploitation peu fructueuses ; ces tentatives ont été interrompues, laissant encore des étendues minéralisées assez importantes, mais fort irrégulières, et où les minerais riches nous ont paru clairsemés.

Pour terminer l'énumération des mines de nickel qui étaient exploitées au moment de notre séjour dans la colonie, il ne nous reste à mentionner que celle des *Barbouilleurs*, ouverte entre les cotes 100 et 200, sur l'un des contreforts du mont Mone dominant la rive gauche de la Dumbéa ; l'exploitation, entreprise en 1893 sans grand succès, a été reprise en 1897 lorsque les demandes de nickel ont commencé à redevenir actives : conduite d'abord en vue d'une faible production, elle a livré jusqu'à 4.000 et 5.000 tonnes dans les dernières années ; elle se développe partie dans des minerais terreux qui, à condition d'être bien séparés des parties argileuses rouges, atteignent encore une teneur de 6 à 7 p. 100, et partie dans des concrétions de silicate vert qui courent plus ou moins régulièrement le long d'une sorte de surface de cassure gauche, que l'on ne saurait assimiler à un véritable filon.

C. — Les gisements anciennement exploités et aujourd'hui abandonnés.

A côté des gisements, en somme peu nombreux, qui sont actuellement exploités dans la colonie, il en existe un très grand nombre d'autres sur lesquels des tentatives d'exploitation plus ou moins prolongées ont eu lieu, et qui sont abandonnés aujourd'hui. Ce n'est pas d'ailleurs que l'on puisse dire qu'il y ait de ce fait présomption pour que ces derniers gisements soient épuisés, ou bien pour que les travaux ainsi abandonnés aient été de nature à montrer qu'ils étaient pratiquement inexploitables. Pour beaucoup d'entre eux, l'abandon a été dû uniquement à l'une des crises que nous avons signalées, et, une fois la crise passée, on n'a pas songé ensuite à les reprendre, ayant ailleurs des ressources suffisantes prêtes à être exploitées ; pour d'autres, après y avoir fructueusement exploité autrefois des minerais riches vendus à un prix tel qu'ils pouvaient supporter un transport onéreux, on n'a pas cru devoir créer depuis lors les moyens de transport économiques qu'aurait exigés l'expédition de tonnages plus importants à des teneurs moindres ; pour d'autres enfin, des amodiataires à court terme ont seulement exploité, ou souvent gaspillé, une traînée de minerai qu'ils avaient reconnue, sans même examiner s'il ne s'en trouvait pas d'autres à côté ; parfois enfin une tentative a échoué en un point d'une mine, alors qu'il y avait tout à côté un gisement fructueusement exploitable.

Dans ces conditions, et malgré la difficulté qu'il y a souvent aujourd'hui à parvenir sur des gisements dont les sentiers d'accès, non entretenus depuis plusieurs années, sont devenus à peu près impraticables, nous avons cru utile de visiter un certain nombre de ces gisements, afin de pouvoir fournir quelques indications générales sur les

conditions dans lesquelles ils se présentent; pour plusieurs d'entre eux d'ailleurs, nous avons déjà donné les renseignements qui les concernent en parlant des gisements voisins actuellement exploités.

Les mines rapprochées de Nouméa ont tout naturellement été parmi celles qui ont été les premières l'objet de tentatives d'exploitation; mais elles ne semblent pas, d'une façon générale, être parmi les plus favorisées comme conditions naturelles. Au mont Dore, où le premier gîte utilisable, ou paraissant tel, avait été découvert, les travaux entrepris alors n'ont pas été de bien longue durée; on en a tenté d'autres récemment; mais, à en juger par ce que laissent encore voir les anciens chantiers, il ne semble pas que les filonnets verts y aient été bien riches, et les matières décomposées du voisinage, qui forment si souvent le plus clair du minerai exploitable, paraissent ici être très magnésiennes et relativement pauvres en nickel.

Parmi les nombreuses mines instituées ou déclarées dans les bassins inférieur et moyen de la Dumbéa, sur les flancs du mont Erembéré et du mont Mou au Nord de Païta, sur les deux rives de la Tontouta, et auprès du cours inférieur de la Ouenghi, une seule est aujourd'hui en activité; plusieurs autres ont été l'objet de tentatives encore récentes, mais infructueuses; enfin un certain nombre ont été exploitées au début avec plus ou moins de profit. Sur toutes celles que nous avons visitées, les exploitations nous ont paru avoir été fort irrégulières, et nous n'avons nulle part constaté l'existence de masses importantes de minerai exploitable reconnues; ce n'est d'ailleurs pas à dire qu'il ne puisse pas en exister de plus ou moins restreintes; mais, d'une façon générale, le type des minerais qui s'y rencontrent est plutôt celui des enduits et concrétions silicatés relativement riches, mais peu abondants, et nulle part les matières pulvérulentes et terreuses ne se montrent bien riches; d'autre part, les

concrétions vertes sont souvent trop quartzeuses, et pa suite beaucoup moins riches que ne le ferait supposer leu couleur. Néanmoins, bien que l'on ait cherché à enlever le meilleures parties, il doit vraisemblablement, comme parai l'indiquer le succès actuel de la petite exploitation de Barbouilleurs, subsister, ici ou là, des gisements de quelqu étendue, mais sans doute irréguliers comme richesse, don on pourrait tirer parti un jour; peut-être même la créa tion du chemin de fer de Nouméa à Bourail, offrant au produits de ces gisements un moyen de transport qu serait relativement économique et qui n'exigerait pa pour les exploitants de frais de premier établissemen coûteux, facilitera-t-il des tentatives de reprise, sur tout pour des gisements de faible importance.

Sur la côte occidentale, nous n'avons à signaler plu au Nord que quelques tentatives d'exploitation au Nord d Bourail et du cap Goulvain, telles que celles de la min *Vosgienne* dans la vallée de la Téné, de la mine *Mé-Don* dans la haute vallée de la Douencheur sur le flanc Es du Mé-Boa, et de la mine *Beau-Soleil* dans les gorges d'o descend la rivière No-Moué, affluent de la rivière d Cap. Partout on avait rencontré des filonnets de minerai verts et chocolat à bonne teneur, mais capricieux comm allure, et sans reconnaître de ces traînées de serpentin décomposée, qui ont fait depuis le succès de la plupar des exploitations entreprises dans la région Nord de l côte Ouest; ce n'est pas à dire d'ailleurs que de telle traînées n'existent pas, car pendant longtemps on n' même pas songé à analyser des matières à aspect aus peu indicatif. Quoi qu'il en soit, aucune des exploita tions de ce groupe, toutes fort éloignées de la mer, e qui n'avaient pas été dotées de moyens de transpor économiques, n'a pu subsister avec les prix relativemen faibles qui sont actuellement pratiqués pour le minera de nickel même riche; nulle part on n'a sérieusemen

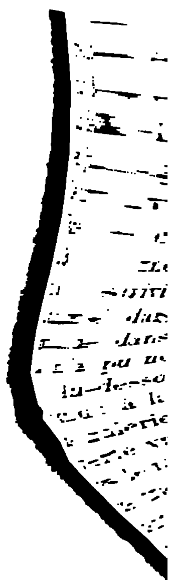
étudié l'importance des ressources existantes et la possibilité de rémunérer les installations qu'il faudrait faire pour les desservir économiquement.

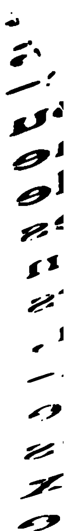
Des mines qui ont été ouvertes, puis abandonnées plus loin vers le Nord, nous n'avons rien de plus à dire que les quelques indications que nous avons fournies au fur et à mesure sur les anciennes exploitations du groupe de Népoui, du Koniambo, du Kaala, etc.

Sur la côte Est, à côté des trois exploitations qui ont lieu actuellement au Sud de Thio, plusieurs autres ont été en activité d'une façon intermittente depuis Kouakoué jusqu'à Thio; les conditions particulièrement difficiles de l'accès à cette partie de la côte n'ont jamais permis d'y rechercher autre chose que les minerais riches à exploiter par quantités relativement restreintes, et on en a trouvé, comme nous l'avons dit, plusieurs beaux gisements, qui peuvent faire penser qu'il existe là aussi une région assez richement minéralisée.

Au Nord de Thio, la baie de Nakety, dont nous n'avons pas fait mention jusqu'ici, a été autrefois le siège d'une production active; plusieurs mines ont été exploitées avec succès, entre 1890 et 1894, sur le promontoire de péridotite qui s'avance au bord de la mer sur la rive droite de la rivière de Nakety; mais le gisement le plus intéressant à mentionner dans ce groupe est celui de la mine *Bienvenue*, situé dans la formation serpentineuse de la rive gauche de la rivière de Nakety : c'est là en effet que nous avons eu l'occasion d'observer l'apparence filonienne la plus nette pour un gisement de nickel : ce filon affleure sur les pentes du mont Cotambo qui regardent la mer; la trace en est connue entre les cotes 275 et 365, et il a été suivi en direction sur une longueur atteignant jusqu'à 130 mètres. L'exploitation de ce filon, tentée plusieurs fois, n'a jamais été très fructueuse; elle s'est néanmoins

ndant les cinq dernières années, produisant
00 tonnes de minerai à 9 ou 10 p. 100; elle
e depuis quelques mois au moment de notre
l'accès des galeries et chantiers n'était plus
ssible. Nous avons néanmoins pu nous rendre
e la disposition des travaux qui y ont été
et de l'allure du gîte. La *fig.* 6 de la Pl. XIII
grossièrement le plan des artères principales :
eries d'allongement ont été tracées respective-
ux cotes 275, 300, 325, 335 et 350; une car-
en outre été ouverte à la cote 365 sur la tête du
la première de ces cotes, le filon a pu être tracé
erement sur 130 mètres de longueur, dans la direc-
u S.-O. ; son mur paraît bien régulier et plan, avec
plongée vers le N.-O. très raide et même voisine de la
icale ; son toit est au contraire assez vallonné, laissant
ilon une largeur variant de 30 centimètres à 1 mètre;
e et l'autre épontes sont constituées par de la pérido-
e légèrement serpentinisée, mais dure et saine ; le
mplissage est essentiellement formé de silicates verts
nés, alternant parfois avec des minerais chocolat, et
elquefois associés à des produits argileux rougeâtres ;
pendant, lorsque le filon prend de l'épaisseur, on ren-
ntre souvent dans le remplissage des blocs plus ou
oins volumineux de la roche encaissante, et il ne
bsiste que deux filonnets de 10 à 20 centimètres de
issance le long de chacune des épontes. A 130 mètres
l'affleurement, on a rencontré, à la cote 275, un filon
oiseur à peu près normal au premier avec plongée vers
Nord-Est ; le mur de ce filon paraît parfaitement continu,
l'on n'a pas retrouvé le filon principal au delà ; ce croi-
ur, puissant de 10 centimètres, présente au croisement une
che minéralisation ; mais il s'atrophie à quelques mètres
distance tant vers le Sud que vers le Nord. Aux
veaux supérieurs, le filon n'a été suivi, comme l'indique





le croquis, que sur des longueurs beaucoup plus restreintes, il s'amincissait ensuite; on n'a d'ailleurs pas fait de travaux réellement importants pour le rechercher au delà de ces amincissements, autant que nous avons pu en juger par l'examen des niveaux encore accessibles. Le niveau de la cote 325, en particulier, long, parait-il, d'une centaine de mètres, était obstrué par un éboulement à 20 mètres du jour; nous ignorons sur quelle longueur il a suivi le filon et sur quelle longueur il a pu être prolongé dans sa trace; nous n'avons en effet pas pu être guidé dans notre visite par le propriétaire de la mine, et il n'a pu nous être présenté aucun plan des travaux.

Au-dessous de la cote 275, l'affleurement n'est plus connu; à la cote 220, on est entré dans la montagne par une galerie à 45° sur la direction du filon; cette galerie, ouverte vraisemblablement au toit du filon, a été poussée vers le mur et y a recoupé, après un parcours de 55 mètres, une trace de filonnet certainement au mur du prolongement du filon principal; il n'a pas été fait d'autres travaux à cette cote. Aux cotes supérieures il a, en outre, été pratiqué quelques grattages superficiels de fort peu d'importance, pour examiner s'il n'existerait pas d'autres filons au toit et au mur.

Entre les différents niveaux il a été poursuivi quelques dépilages avec remblayage plus ou moins complet, et nous avons vu quelques fronts de taille arrêtés à des parties encore belles du filon; nous n'avons d'ailleurs pas pu nous rendre un compte exact de l'étendue des dépilages déjà poursuivis.

Le gisement de la mine Bienvenue présente, comme on le voit, un double intérêt, puisque, d'une part, c'est la dernière exploitation de nickel qui ait été poursuivie souterrainement en Nouvelle-Calédonie, et que, d'autre part, bien que n'ayant, ou du moins n'étant connu pour avoir, qu'une continuité assez faible tant en direction qu'en pro-

fondeur, il présente un caractère filonien beaucoup plus net qu'aucun des gisements que nous ayons eu l'occasion d'examiner. Il semble d'ailleurs que cet exemple d'un filon net, assez régulier, et en somme d'une belle minéralisation, dont l'exploitation n'a pas été réellement fructueuse malgré la dernière période d'activité du marché du nickel, soit de nature à montrer une fois de plus que ce n'est pas l'exploitation souterraine des filons même riches, mais bien l'abatage au jour de grandes masses de minerai plus pauvre, qui doit constituer désormais l'exploitation rémunératrice du nickel en Nouvelle-Calédonie. Nous ajouterons d'ailleurs que le gîte était dans de très bonnes conditions au point de vue des transports, puisqu'un seul câble permettait de descendre le minerai au bord de la mer où il était immédiatement embarqué.

Au sujet des mines exploitées autrefois à Canala et à Kouaoua, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons rappelé ci-dessus; nous dirons au contraire quelques mots de celles des vallées de la Kagenjou et de la rivière de Kua. La vallée de la Kagenjou, qui s'ouvre tout entière entre les serpentines, paraît abondamment minéralisée sur ses deux côtés : il n'y a eu d'exploitation sérieuse que sur la rive droite, au flanc du Mé-Moa, sur l'autre versant duquel se développent les travaux de Kouaoua. Cette exploitation a porté sur la mine *Renaissance* entre les cotes 670 et 730; elle aurait eu une certaine importance en 1890; elle a ensuite été reprise sans succès en 1897-1898 et a fourni alors 2.000 tonnes de minerai : autant qu'on peut en juger par ce que laisse voir l'état actuel des travaux, les concrétions de minerai vert ou chocolat et les formations bréchoïdes empâtées dans des silicates riches doivent y être assez abondantes; beaucoup de chantiers ont naturellement été arrêtés là où les matières riches disparaissaient, ou du moins là où leur continuité cessait; mais d'autres montrent encore de beaux minerais

évidemment exploitables. A côté de la mine Renaissance, la mine *Victoria* n'a été l'objet que de travaux de recherches; ils ont mis à découvert de riches minerais en quelques points.

Du côté de la rive gauche de la rivière Kagenjou, nous avons également vu quelques belles têtes de minerai sur le périmètre de la mine *Euréka*. Plus à l'Ouest, sur le versant qui descend sur la rivière de Kua, la mine *Victorian* a été, en 1886, l'objet d'une petite exploitation par un amodiataire; celui-ci en avait tiré un certain nombre de tonnes de riche minerai et les déblais produits, aussi bien que les fronts de taille encore accessibles, montrent qu'en dehors des minerais riches, seuls recherchés alors, il existe des quantités vraisemblablement sérieuses de minerai à teneur moyenne.

Remontant la vallée de la rivière de Kua en suivant les ravins escarpés de sa rive droite, on rencontre également des affleurements importants de silicates verts; il en est de même sur les contreforts successifs qui se développent plus loin encore sur de larges étendues jusqu'à hauteur de la localité de Méré, contreforts beaucoup moins abrupts que les précédents, et qui paraissent constituer le reste d'un vaste plateau en pente douce reposant sur les schistes sédimentaires et coupé par une série de ravins profonds. Traversant la rivière de Kua, qui coule sur les schistes, et gravissant les contreforts du massif serpentineux qui se développe sur la rive gauche, on retrouve des mines autrefois exploitées : ce sont les mines *Union*, *Révolution*, et *Revanche*, et, plus au Nord, la mine *Mécorouma* dont nous avons déjà fait connaître le caractère spécial. Ces mines, autrefois explorées souterrainement par les premiers mineurs australiens, n'ont fait l'objet d'une exploitation un peu étendue, de 1886 à 1889, que sur les deux versants de la vallée qu'emprunte la route de Kouaoua à Houaïlou ; les frais de transport, qui comportaient un charroi de 14 kilomètres

jusqu'au bord de la mer, étaient considérables, néanmoin on a pu en extraire quelques milliers de tonnes de mine rai riche; les minerais qui restent en vue aujourd'hui constitués par des plaquettes au milieu de serpentines trè rocheuses et dures, paraissent fort siliceux.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble de ces gisements, qui s développent sur quelque 10 kilomètres de longueur d part et d'autre de la vallée, et qui n'ont été l'objet qu d'exploitations très restreintes, paraît renfermer encor pour l'avenir des ressources importantes.

Plus au Nord on rencontre, comme nous l'avons dit, le gisements, actuellement exploités, de Poro; puis on par vient à Houaïlou, où les serpentines ne constituent plu qu'une étroite bande au bord de la mer; elles former néanmoins deux amphithéâtres au-dessus de l'embou chure des deux rivières Kamoui et Houaïlou, et le nick y présente, par places tout au moins, de beaux gisements la mine *Bel-Air*, mise en exploitation à la fin de 1875, fourni à cette époque de riches minerais verts; elle n' pas été reprise depuis. Mentionnons enfin qu'en face d Houaïlou, de l'autre côté de la baie de Bâ, le massif ser pentineux aujourd'hui exploité pour cobalt, a été l'obje de travaux souterrains en vue de suivre des affleurement de nickel qu'on y avait reconnus.

D. — Les massifs nickelifères encore vierges.

Les nombreuses exploitations et tentatives d'exploita tion du nickel que nous venons de mentionner n'ont ju qu'ici eu lieu, en Nouvelle-Calédonie, qu'au voisinag plus ou moins immédiat des deux côtes; elles jalonner l'une et l'autre sur presque toute la longueur des forma tions serpentineuses. Les dépenses prohibitives que com porterait le transport des minerais par les sentiers e chemins dont on dispose ou qu'on pourrait créer à peu

frais, ou bien les mises de fonds considérables qu'exigerait l'établissement de voies ferrées ou de transporteurs, ont, au contraire, interdit jusqu'ici toute exploitation au centre même de l'île. On s'est cependant déjà engagé dans cette voie lorsque l'on a créé un chemin de fer de 10 kilomètres le long de la rivière de Thio, puis 8 kilomètres 1/2 de voie ferrée et un transporteur de 6 kilomètres de longueur dans la vallée de Kouaoua, et enfin un réseau ferré de 28 kilomètres, que l'on porte aujourd'hui à 35, dans la vallée de la rivière de Népoui. Il reste néanmoins encore des étendues considérables de la formation serpentineuse, soit au cœur du grand massif méridional, soit dans les montagnes de la chaîne centrale au Centre et au Nord de l'île, pour lesquelles de semblables voies de transport n'existent pas, et pour lesquelles il a été jusqu'ici regardé comme trop coûteux d'en créer.

Cela n'a pas empêché les prospecteurs de parcourir ces régions, et les mineurs, ou trop souvent les spéculateurs, de chercher à s'assurer la propriété des gisements qui y étaient signalés; aussi, aujourd'hui, presque toute l'étendue de la formation serpentineuse est-elle jalonnée par des périmètres miniers, dont la très grande majorité se rapportent à des gisements nickelifères (*), et n'avons-nous à signaler que quelques zones à peine de cette formation où le nickel ne paraisse pas exister, du moins à l'état de concentration suffisante. D'une part, l'extrémité Sud de la colonie, à partir d'une ligne qui joindrait à peu

(*) Sur les 148.289 hectares concédés de la formation serpentineuse, 122.019 l'ont été pour nickel; d'autre part, 172.898 hectares sont l'objet de demandes de concessions ou de déclarations de recherches pour nickel, cobalt ou chrome (sans que les renseignements possédés par l'Administration permettent de préciser lequel de ces trois métaux a été signalé), et il est vraisemblable que les 3/4 ou les 4/5 de cette superficie contiennent des gisements de nickel, ce qui porterait la superficie totale des gisements de ce métal actuellement signalés à 250.000 hectares au moins.

près la baie de Plum à celle de Kouakoué, est connu e comme beaucoup plus riche en gisements de cobalt et surtout de chrome que de nickel; d'autre part, une zone d'une dizaine de kilomètres de largeur et d'une trentaine de kilomètres de longueur, située en arrière de la chaîne des monts Koghis, Erembéré, et Mou, de part et d'autre de la rivière Koéalagoguamba, n'a été jusqu'ici l'objet d'aucune déclaration minière; enfin le massif du Oua-Tilou n'en comprend qu'une seule de faible étendue, et ceux du dôme de Tiebaghi et de la presqu'île de Poume ne paraissent contenir, comme exploitables, que des minerais de chrome et de cobalt à l'exclusion de ceux de nickel.

Parmi les régions encore vierges, mais qui sont considérées comme particulièrement riches en nickel, nous citerons : la vallée de la Tontouta et les pentes du mont Humboldt qui descendent sur la vallée de son affluent la Kalouéhola, la haute vallée de la Ouenghi ou plus exactement celle de son affluent la Tontou et le massif où cette rivière prend sa source, massif qui se développe, également avec des gisements de nickel, sur le versant de la rivière Koua, la haute vallée de la rivière Comboui, le massif du Tchingou, etc. Nous n'avons pas eu le loisir de visiter tous ces massifs, d'autant plus que, pour deux d'entre eux, il ne nous a pas été possible de trouver, auprès des concessionnaires ou des auteurs des déclarations de recherches, personne qui fût en état de nous guider jusqu'aux points où les indices les plus sérieux de la présence du minerai ont été relevés.

Ce n'est que dans les vallées de la Tontou et de la rivière Koua, et dans la vallée de la Comboui, que nous avons pu examiner avec quelque détail les affleurements qui ont été découverts et les quelques travaux de recherches qui ont été faits.

Nos observations, qui ont porté dans la première de ces régions, comme l'indique la *fig.* 7 de la Pl. XIII, sur

assez grand nombre de périmètres qui faisaient à ce ment l'objet de demandes de concessions pendantes, ıs ont permis de reconnaître, en un très grand nombre points situés généralement entre les cotes 500 et)00, la présence de riches minerais verts ou chocolat, parfois aussi de formations pulvérulentes à bonne ieur; souvent de tels indices peuvent être relevés le g d'une même croupe sur des hauteurs verticales im- tantes et peuvent être retrouvés jusqu'à une certaine tance à droite et à gauche. Ce sont là des indications t encourageantes, qui montrent que la minéralisation ces massifs est considérable. Il paraît dès lors fort à érer que d'importantes richesses existent, encore ges, dans la large étendue de ces massifs, et qu'il rrait y être fait des exploitations considérables, le jour la question des moyens d'évacuation du minerai serait ılue. Comment cette question devrait-elle être résolue, lles seraient les dépenses qu'une telle solution com- terait, et sur quels tonnages de minerai les frais de mier établissement correspondants pourraient-ils être artis? C'est ce que personne n'a étudié sérieusement ju'ici, et c'est ce que le caractère des plus sommaires recherches qui ont été faites ne permet pas d'appré- aujourd'hui.

)ans la haute vallée de la Comboui, il semble égale- ıt exister des ressources d'une certaine importance, n que la minéralisation s'y montre généralement moins ıe et vraisemblablement plus irrégulière. Dans la val- de la Tontouta et dans celle de la Kalouéhola, c'est-à- e sur l'autre flanc du massif du Humboldt, on aurait ılement fait des recherches couronnées, assure-t-on, n succès superbe; nous n'avons pas été mis à même vérifier par nous-même l'exactitude de ces dires, et us avons tout lieu de croire que, comme pour les autres gions encore vierges, le développement des recherches

faites a été insuffisant pour pouvoir donner autre chos que l'espérance qu'il existe là des ressources importantes Nous ne pouvons pas en dire davantage des gisements d massif du Tchingou.

E. — Importance des réserves de minerai de nicke contenues dans le sol de la Nouvelle-Calédonie.

Après avoir cherché à donner une idée des exploita tions qui se poursuivent actuellement ou qui ont eu lie autrefois sur les différentes mines de la colonie, et aprè avoir dit quelques mots des régions où l'on n'a encor fait que signaler l'existence du nickel, nous croyons de voir présenter quelques considérations sur l'importanc que peuvent avoir les ressources en nickel qui subsisten encore.

La question capitale qui se pose pour celui qui cherch à se faire une idée à ce sujet est celle-ci : quel est le véri table caractère des gisements calédoniens, ou, en d'autre termes, quelle a pu être leur genèse? En examinant cett question, on ne peut qu'être tout d'abord frappé de la rela tion étroite qui existe entre les gisements de nickel e les péridotites ; nous n'insisterons pas sur ce fait que tou les gisements nickelifères de la Nouvelle-Calédonie, san aucune exception, sont situés sur des massifs de pérido tite, tant cela ressort de toutes les explications qui pré cèdent; nous ajouterons seulement que c'est là un association qui est bien loin d'être spéciale à notre colonie Depuis longtemps on est habitué à considérer le nicke comme un métal appartenant tout particulièrement à l catégorie des métaux de profondeur, restant associé au magmas les plus basiques chargés de péridot, et tendan à demeurer avec eux au fond du vaste creuset que cons titue le sous-sol. On connait d'ailleurs aujourd'hui nomb de points où le nickel est associé en assez grande abo

dance aux péridotites, aussi bien aux États-Unis d'Amérique que dans l'Oural, et l'on a en outre signalé bien des fois la présence de traces plus ou moins notables de nickel dans des péridotites, même dans nos régions. Ce qui est plus digne de remarque, c'est la constance avec laquelle le nickel accompagne les péridotites en Nouvelle-Calédonie, c'est-à-dire ce fait qu'il n'existe, croyons-nous, pas un rocher de péridotite dans la colonie où il ne se rencontre quelque peu de nickel. C'est ce qu'ont nettement confirmé les nombreuses analyses que nous avons faites ou fait faire au laboratoire de l'École des mines de Saint-Etienne ; c'est ainsi, par exemple, qu'une série de 10 échantillons de péridotite provenant des régions les plus variées de la colonie, les unes très fraîches, les autres plus ou moins complètement serpentinisées, mais qui n'avaient nullement le caractère de minerais même pauvres, contenaient toutes du nickel (et du cobalt pesé en même temps que le nickel) en quantités parfaitement pondérables, variant de 9 dix-millièmes à 24 millièmes de nickel métal. Nous nous sommes d'ailleurs assuré que ce métal se rencontre aussi bien dans le péridot et la serpentine à laquelle il donne naissance, que dans l'enstatite même très fraîche. C'est, d'autre part, ce que montre chaque jour de plus en plus la série sans cesse croissante des découvertes de gisements de nickel plus ou moins riches dans les parties les plus diverses de la formation serpentineuse. Nous répéterons d'ailleurs, comme nous l'avons signalé bien des fois déjà, que parmi les différents types de péridotites, les unes uniquement constituées de péridot, les autres plus ou moins chargées d'enstatite peu ferreuse, d'autres encore où l'enstatite est remplacée par de la bronzite, péridotites qui ici sont très fraîches et là presque complètement serpentinisées, aucune variété ne paraît spécialement associée aux gisements nickelifères ; tout au plus semble-t-il que, dans la région méridionale de l'île

que nous avons signalée comme paraissant jusqu'ici dépourvue de gisements de nickel exploitables, l'alumine et surtout la chaux soient un peu moins rares que dans les autres parties de la formation serpentineuse où cette dernière n'existe guère qu'à l'état de traces : c'est en effet dans le Sud de l'île que nous avons rencontré le diallage en filons dans les péridotites; c'est également là qu'il apparaît comme gangue du fer chromé; d'autre part, certaines matières complexes, principalement talqueuses, associées au fer chromé, se montrent assez riches en chaux et en alumine; enfin c'est dans l'île Ouen qu'ont été tout particulièrement signalées par MM. Garnier et Heurteau des euphotides, ou plutôt des gabbros, contenant des pyroxènes calciques. Néanmoins les péridotites mêmes de cette région ne contiennent, comme les autres, que des traces de chaux, et renferment comme elles quelques millièmes des deux métaux nickel et cobalt, avec prédominance absolument nette du nickel.

Une fois constatée l'association constante des minerais de nickel aux péridotites, il reste à se demander s'ils dérivent des péridotites ou bien si péridotites et minerais de nickel ont tiré simultanément leur origine d'un même magma profond riche en nickel; c'est-à-dire, en d'autres termes, si le nickel n'est venu des profondeurs que disséminé dans les péridotites, comme il l'est encore aujourd'hui pour une part, et si sa concentration dans les gisements que nous connaissons n'est due qu'à des actions superficielles ultérieures, ou bien si, au contraire, il s'était partiellement ségrégé à l'origine dans des amas ou des filons ayant, grâce à des transformations ultérieures peut-être, donné lieu aux gîtes actuellement exploités. Une troisième hypothèse pourrait cependant être faite, qui serait en quelque sorte intermédiaire entre ces deux-là : le nickel serait, postérieurement à l'apparition des péri-

dotites, venu de la profondeur où il serait primitivement resté ségrégé, et d'où il aurait ensuite été amené au jour par des sources thermales ; il se serait alors soit déposé dans des filons et cheminées, soit épanché à la surface des massifs.

Quelque intéressante que puisse être cette question au point de vue géologique, elle ne l'est pas moins au point de vue pratique, puisque, si c'était la première hypothèse qui rendait compte de la réalité des faits, on ne pourrait espérer rencontrer le nickel exploitable que dans les gîtes superficiels que nous connaissons, et qu'il faudrait se résigner à le voir partout disparaître à une certaine profondeur au-dessous du sol, comme cela a été le cas jusqu'ici dans presque toutes les exploitations, sinon dans outes ; si, au contraire, on était conduit à reconnaître que es gisements exploités actuellement ne doivent être que es formes superficielles de ségrégations qui se seraient roduites dans toute la masse de la péridotite, on pourrait spérer retrouver dans celle-ci, et exploiter un jour isqu'à des profondeurs plus ou moins considérables, de ès importantes réserves de nickel ; il en serait de même, u au moins un peu de même, dans le cas où ce serait la oisième hypothèse qui se trouverait être fondée.

Nous ne disposons pas d'observations sur le terrain ssez détaillées et assez précises, et contrôlées à loisir, our pouvoir discuter complètement une telle question et résenter des arguments décisifs dans un sens ou dans 'autre ; nous ne pouvons que faire part ici de l'impression ès nette que nous a laissée l'ensemble des faits que ous avons pu observer.

Une première indication nous paraît ressortir nettement de tout ce que nous avons vu : c'est que la majeure partie tout au moins d'entre les gisements n'ont certainement pas de racines profondes, c'est-à-dire qu'ils sont

uniquement de formation superficielle ; la constance avec laquelle toutes les exploitations, poursuivies soit sur des minerais terreux et sur des remplissages bréchoïdes de fentes ou d'intervalles de blocs, soit sur des filonnets et enduits dans les fractures de la roche, ont dû s'arrêter à une certaine distance de la surface actuelle, semble le prouver péremptoirement ; le plus grand nombre des gisements nous apparaissent donc déjà comme ayant été soit formés, soit tout au moins remaniés, par des actions superficielles. Mais il y a plus : nombre de gisements ont été pratiquement épuisés sans que l'on y ait trouvé trace d'une semblable racine ; on est dès lors, à notre avis, en droit de conclure qu'ils n'en ont très vraisemblablement pas ; on pourrait toujours, nous n'en disconvenons pas, nous objecter que ce que nous considérons comme un gisement peut n'être qu'une portion remaniée et isolée empruntée à quelque autre gisement dont l'origine profonde pourrait être décelée un jour ; c'est là une probabilité que nous ne saurions admettre, car il serait pour le moins bien étrange que pareille racine n'ait jamais pu être observée, et nous croyons pouvoir dire qu'elle n'a jamais été observée jusqu'ici.

Où pourrait-on en effet en chercher dans ce que nous avons eu l'occasion d'observer et de décrire : dans des filonnets comme il s'en rencontre dans certains gisements en roche, ou dans des cheminées comme nous en avons vu quelques-unes au milieu de gisements de minerai bréchoïde ou terreux ? Si nous avions vu un seul filon qui eût quelque apparence de se prolonger en profondeur, nous serions moins affirmatif ; mais nous n'en connaissons point ; les différents filons du Plateau de Thio se sont pratiquement stérilisés lorsqu'on a cherché à s'enfoncer soit dans le cœur des mamelons sur lesquels ils affleurent avec de riches minerais, soit verticalement ; le filon de la Boa-Kaine s'est atrophié et perdu assez rapidement en pro-

fondeur, comme le fait voir la coupe reproduite par la *fig.* 7 de la Pl. XII; le filon de la Bien-Venue, connu sur une centaine de mètres de verticale, n'a plus du tout été retrouvé à 50 mètres plus bas, et la disposition de sa zone minéralisée paraît, autant que nous avons pu en juger, correspondre tout aussi bien, sinon même mieux, à une formation *per descensum* qu'à une formation *per ascensum*. Quant aux autres indications de filons que nous avons rencontrées, elles présentent encore beaucoup moins de continuité et ne méritent certainement pas le nom de filons. Ajoutons que tous ces filons, là où il s'en trouve, ne paraissent nullement dessiner, même approximativement, des champs de fractures profondes; si bien que nous sommes beaucoup plutôt tenté de les considérer comme des fractures accidentelles et locales, dans lesquelles le retrait a peut-être joué un rôle important, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire. Quant aux « cheminées » que l'on observe encore assez fréquemment dans les gisements du genre de ceux de la côte Ouest, elles sont toujours très limitées comme étendue, et nous ne connaissons aucun exemple d'une telle cheminée qui ait paru se prolonger jusque dans la profondeur; elles ont donc également été beaucoup plutôt formées par des eaux s'y précipitant depuis la surface que par des eaux montant des profondeurs.

A côté de ces arguments tirés du mode de gisement des minerais de nickel, un autre, tout aussi sérieux, nous paraît résulter de la nature même de ces minerais; les hydrosilicates qui les constituent sont des minerais oxydés et dont le caractère de dépôt de dissolution paraît attesté de la façon la plus manifeste par leur constitution, qui est très souvent avec évidence celle de dépôts par des eaux ruisselantes, et qui est toujours plus ou moins nettement concrétionnée. Aucun des minerais que nous connaissons

ne peut donc passer pour avoir été formé par ségrégation ignée ou par des émanations minéralisatrices sulfurées, arséniées, etc., telles qu'on les imagine généralement ; dès lors, à moins d'admettre que des arséniosulfures ou des minerais analogues doivent se rencontrer à des profondeurs où l'on n'est pas encore parvenu, on serait obligé d'en revenir soit à notre manière de voir, soit à l'hypothèse des sources thermales. Or il paraît bien difficile aujourd'hui de croire encore à l'existence en profondeur de minerais d'une autre nature, après plus de 25 ans de recherches de toutes sortes, dont beaucoup ont eu lieu par galeries souterraines, et dont quelques-unes ont exploré les gisements à plus de 100 mètres de profondeur (*) (filon de la Boa-Kaine suivi sur 108 mètres de verticale, mine Bien-Venue explorée jusqu'à 145 mètres au-dessous de la tête du filon), sans qu'il ait été trouvé une seule trace de ces minerais de profondeur.

Il est vrai de dire cependant que l'on a signalé, il y a quelques années, en Nouvelle-Calédonie, quelques mouches de sulfure de nickel (millerite tenant 46 p. 100 de nickel), rencontrées — cela paraît établi d'une façon à peu près certaine — dans les travaux souterrains fort peu développés de la mine de chrome *Espérance*.

Cette mine est constituée par un filon irrégulier, en chapelet, de fer chromé plus ou moins pur, apparaissant au milieu d'un très petit massif isolé d'une péridotite à bronzite qui, rapporté sur les terrains sédimentaires (schistes phylladiens très quartzeux), forme, sur la rive gauche de la rivière Pouéo, à 10 kilomètres au Nord de Bourail, un piton isolé et élevé de 275 mètres.

Une galerie, longue de 9 mètres seulement, ayant été ouverte sur l'affleurement de ce filon à la cote 235, dans

(*) Ces travaux sont, il est vrai, tous restés au-dessus du niveau hydrostatique.

une direction Sud légèrement Ouest, aurait rencontré le long des épontes quelques mouches de ce sulfure, associé à de la pyrite, et qui aurait d'abord passé pour tel; mais, analysé ultérieurement au laboratoire du service local à Nouméa, il a montré la composition suivante :

Nickel..............	46,33
Fer	0,44
Cuivre..............	0,06
Arsenic.............	Néant

Il n'a plus depuis lors été fait aucun travail sur le gisement ; nous avons examiné avec beaucoup de soin aussi bien le front d'avancement abandonné que les épontes mises à nu, les affleurements, et les blocs rejetés, sans trouver nulle part la moindre trace de minerais sulfurés quelconques ; il semble donc qu'il y en ait eu seulement quelques mouches sporadiques ségrégées, en même temps que le fer chromé, au sein d'une masse qui est légèrement nickelifère, on le sait bien. Mais il n'y a là aucune espèce d'indication que l'origine des puissants gisements superficiels de nickel que l'on connaît sur d'autres massifs, et précisément pas sur celui-là, puisse être due à la transformation de tels minerais sulfurés.

Cette absence totale, en profondeur, des minerais sulfurés du nickel, absence que plus de 25 années de travaux n'ont pas démentie, est, à notre avis, avec ce qui est relatif aux conditions de gisement, un argument décisif à opposer à ceux qui voudraient faire dériver les minerais connus de l'altération de minerais de profondeur d'une autre nature chimique, qui auraient été ségrégés au milieu de la masse des péridotites. Mais cet argument n'est pas opposable de même à ceux qui voudraient attribuer la formation des minerais calédoniens à des sources thermales ; il faut d'ailleurs préciser le sens à donner à ce terme, car toute différente, à notre avis, serait l'idée de

faire intervenir des eaux chaudes pour expliquer le remaniement du nickel primitivement disséminé dans les péridotites, ou pour expliquer sa venue depuis les profondeurs.

Contre cette dernière hypothèse, nous avons tout d'abord à renouveler les arguments déjà présentés ci-dessus au sujet de l'absence de toute indication de racine des gisements de nickel, et de toute disposition en véritable réseau de fractures profondes des cassures de roche qui contiennent souvent le minerai; nous avons, d'autre part, à faire observer qu'en aucun point des régions où les filonnets disséminés dans les cassures de la roche disparaissent pour faire place à des amas complexes de dépôts superficiels, on n'a pu, à notre connaissance, localiser quoi que ce soit qui ressemble à un émissaire autour duquel se grouperaient en éventail des concrétions riches, rappelant en quelque sorte les dépôts qui se produisent autour des orifices des geysers. Enfin, à moins que l'on ne veuille admettre que les énormes masses de péridotite souvent très fraîche que l'on rencontre sans aucune trace de concrétions de silicates nickelifères (surtout celles de la région du Sud de l'île) aient été quelque peu imprégnées par de semblables eaux thermales qui leur auraient donné la légère teneur en nickel constatée aujourd'hui, ce qui personnellement nous paraît bien invraisemblable, on serait conduit à accepter l'idée de deux venues successives de nickel de la profondeur, une première avec les péridotites, et dont le nickel se serait disséminé irrégulièrement dans ces péridotites mais toujours avec une assez faible teneur, et une deuxième, sous forme de sources thermales, pour former directement les gisements de concentration que nous connaissons. C'est là également une hypothèse que nous hésiterions à faire; et elle deviendrait plus invraisemblable encore s'il venait à être établi, comme nous en avons indiqué la possibilité, que les péri-

·ites ont été jetées en bloc sur le sol calédonien au ·rs de quelque puissante convulsion de l'écorce terrestre, si l'on se trouvait alors amené à admettre que ce ne ·ait plus que par une coïncidence vraiment extraordinaire ·e ces péridotites, supposées déjà légèrement nickeli·es, auraient été ultérieurement le siège exclusif de la ·culation des eaux thermales amenant des profondeurs de ·uvelles quantités de nickel.

Pour nous donc, le nickel de la Nouvelle-Calédonie est ·enu de la profondeur disséminé dans la péridotite, tant ·ans le péridot lui-même que dans l'enstatite, en petites ·uantités, et associé d'ailleurs avec des traces de cobalt ·t de manganèse, tous trois métaux très voisins du ·er, dont les protoxydes se sont vraisemblablement mélan·gés en faible proportion au protoxyde de fer et à la ·nagnésie au moment de la cristallisation des silicates ·erreux magnésiens; cette proportion peut, dans les ·chantillons que nous avons examinés, atteindre jusqu'à · 1/2 p. 100 de nickel et cobalt métalliques sur la totalité ·le la roche, mais elle reste le plus souvent de quelques ·nillièmes seulement (*).

Ce ne seraient ensuite que des actions superficielles qui ·uraient concentré le nickel sur certains massifs, ou ·plutôt en certains points de certains massifs, et il ne nous semble pas du tout nécessaire de faire même intervenir des eaux thermales pour expliquer cette concentration; elle nous paraît pouvoir simplement être attribuée aux eaux courantes superficielles que nous avons déjà vu, avec une évidence qui nous paraît complète, donner

(*) Suivant M. Levat (D. Levat, *Association pour l'avancement des sciences*, *loc. cit.*, p. 3), cette teneur pourrait atteindre 5 p. 100 pour des serpentines ne présentant pas de traces de fissures tapissées de minerai de nickel. Nous ignorons si les échantillons dont il s'agit, qualifiés serpentines et non péridotites, étaient suffisamment inaltérés pour que l'on puisse affirmer qu'ils n'aient pas été soumis à l'action d'eaux susceptibles d'y avoir produit une première concentration du nickel.

naissance aux masses d'argile rouge avec les concentrations de cobalt et de chrome qu'elles contiennent et aux quartz cariés qui jonchent le sol des massifs de péridotite. Nous nous séparons donc sur ce point de M. Levat (*), qui fait appel à des eaux thermales tout en paraissant bien admettre d'ailleurs qu'elles n'ont fait qu'emprunter aux serpentines le nickel que celles-ci contenaient préalablement.

Nous nous séparons encore de lui en ce qui touche à l'association des minerais de nickel aux vasques d'argile rouge : sans doute, ils se rencontrent toujours au contact ou au voisinage des argiles rouges, si l'on donne au mot voisinage un sens suffisamment extensif, qui n'a d'ailleurs pas besoin de l'être beaucoup, étant donnée l'extrême fréquence desdites argiles dans la formation serpentineuse : on trouve de ces argiles, nous l'avons déjà dit, toutes les fois que la pente du terrain leur a permis de se fixer et de ne pas être immédiatement emportées par les eaux courantes; mais nous ne saurions admettre avec M. Levat que le nickel ne s'est déposé que dans les fissures produites sur les faces restées intactes de la serpentine par le retrait des argiles rouges. D'une part, nous avons très souvent observé des gisements de nickel à une distance très notable des argiles rouges, par exemple dans des têtes rocheuses de péridotite formant la crête d'un massif dont les pentes n'étaient recouvertes qu'à plusieurs dizaines de mètres de là, parfois même à des centaines de mètres seulement, d'un manteau d'argile ; d'ailleurs, M. Pelatan (**) signalait, ce qui paraît un peu contradictoire avec l'indication de M. Levat, que « les principaux gisements de nickel se développent plus volontiers le long des crêtes montagneuses élevées »;

(*) *Loc. cit.*, p. 3 à 8.
(**) *Loc. cit.*, p. 50.

cette dernière remarque a aussi été faite maintes fois par les mineurs de la colonie qui, par une généralisation excessive, déclarent souvent que le nickel ne saurait être trouvé à faible altitude. D'autre part, nous ne comprendrions pas comment le retrait d'argiles rouges reposant dans le fond d'une vasque de péridotite aurait pu produire dans cette roche des cassures de l'importance de celles que manifestent certains des filons et filonnets du Plateau de Thio, le filon de la Boa-Kaine, celui de la Bien-Venue, etc. Enfin nous n'avons nullement été amené à observer, comme l'a fait M. Levat, une répartition du minerai sur les deux bords des vasques d'argile rouge, soit d'une part au toit et d'autre part au mur de celles-ci : tantôt il apparait dans les fentes de la péridotite, sur un ou l'autre bord de ces vasques, dans lesquelles nous ne savons d'ailleurs distinguer ni toit ni mur, et il peut, aux affleurements, paraître déposé entre la péridotite et l'argile ; mais, plus profondément, il reprend son gisement normal pour les minerais en roche, entre deux épontes de péridotite (Voir, par exemple, notre croquis, *fig.* 1 de la Pl. XIII, d'un front de taille de la mine Prise-de-Rivoa); tantôt l'enlèvement de l'argile d'une telle vasque fait voir une tête de minerai au fond même de celle-ci ; tantôt, et c'est le cas le plus fréquent pour les affleurements apparaissant sur des parois suffisamment abruptes pour ne pas pouvoir retenir l'argile rouge, le minerai se rencontre loin de tout amas d'argile.

Pour nous donc, c'est simplement l'altération superficielle des péridotites nickelifères qui a produit les gisements de nickel de la Nouvelle-Calédonie ; nous avons expliqué déjà quel paraît avoir été son processus : fendillement des roches affleurant au jour, circulation des eaux superficielles dans les masses ainsi fendillées, dissolution d'une partie des éléments et oxydation des autres sur place ; recristallisation immédiate des éléments les moins

solubles dans les conditions spéciales du milieu, et départ des autres, puis altération mécanique des roches ainsi transformées, et transport à plus ou moins grande distance des éléments détritiques qui en résultaient.

Dans cette série d'actions successives, le nickel, dont les sels sont, comme on le sait, généralement solubles, et qui manifeste par tous les caractères de ses gisements une connexité très grande avec la magnésie, du moins dans les conditions spéciales qui ont été réalisées en Nouvelle-Calédonie, a été entraîné avec la magnésie et s'est déposé avec elle sous forme d'hydrosilicates magnésiens nickelifères : là cependant une différenciation a commencé à se faire entre les deux métaux, le nickel s'étant montré plus prompt à se précipiter et ayant ainsi donné lieu à des formations dans lesquelles le rapport entre la quantité de nickel et celle de magnésie est infiniment plus élevé que dans les péridotites.

Quant au lieu même où il s'est déposé, tantôt cela paraît être dans les fissures mêmes des péridotites qui s'altéraient, et c'est ce qui a donné lieu à ces « serpentines damier » qui rappellent beaucoup comme constitution les serpentines à cloisonnement de quartz que nous avons mentionnées comme constituant le premier stade de la décomposition des péridotites ; tantôt ce ne serait que dans des fissures plus importantes d'un massif voisin d'une péridotite restée plus fraîche, c'est-à-dire dans des cassures de retrait plus ou moins parallèles entre elles, quoique traversées par un réseau de cassures transversales (type des minerais du Plateau de Thio), ou même dans des fractures d'allure presque filonienne, dues à un effet mécanique plus important avec glissement des deux lèvres de la cassure l'une sur l'autre et formation de plans de glissement que le nickel est venu ensuite comme vernir pour former des « glacis » verts ; ailleurs les solutions nickelifères auraient simplement imbibé des

masses plus ou moins terreuses qui recouvraient le sol. Ajoutons d'ailleurs que ces actions, qui ont sans doute dû être très prolongées pour produire des effets de l'importance de ceux que nous constatons, et qui remontent peut-être à une époque géologique antérieure à la nôtre, sont vraisemblablement encore actuelles. Il est aisé d'ailleurs de se rendre compte de leur possibilité en parcourant les seules galeries souterraines encore accessibles, celles de la mine Bien-Venue, où l'on voit, comme dans toute mine métallique, des eaux légèrement minéralisées suinter des parois et, en s'écoulant goutte à goutte, former des dépôts stalactiformes de garniérite tout à fait identiques à ceux que l'on trouve en abondance dans des cheminées où on ne les a pas vus se former. Rappelons enfin que M. Pelatan a recueilli des coléoptères transformés en minerai vert de nickel, qui appartiennent probablement à des formes encore vivantes, « empâtés dans des dépôts contemporains provenant d'une redissolution du minerai (*) ».

Enfin des minerais terreux et argileux comme nous en avons signalé, et qui doivent leur teneur en nickel à la multitude des débris de garniérite qu'ils contiennent, tirent évidemment leur origine du remaniement des parties superficielles des gîtes formés comme nous l'avons dit.

Les minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie sont onc, à notre sens, de formation purement superficielle ; faudrait dès lors, comme l'expérience l'a constamment montré depuis 25 ans, compter les voir tous ne présenter ue peu de développement en profondeur. Mais, inversement, l'identité des actions superficielles qui se reproduisent ur les différents massifs de péridotite tous plus ou moins

(*) David Levat, *Mémoire sur les progrès de la métallurgie du nickel et sur les récentes applications de ce métal.* (*Annales des Mines*, 9e série, t. I, p. 145; 1892.)

nickelifères peut, et doit même, produire un peu partout dans des conditions analogues des gisements du même genre. Ici le nickel, déjà plus abondant dans la roche mère, se sera plus aisément concentré jusqu'à une teneur exploitable ; là, au contraire, les minerais qu'il aura pu former seront plus pauvres ; ici des fissures nombreuses ouvertes dans les roches auront, pendant de longues années, offert un passage auxdites solutions nickelifères qui y auront déposé de riches et abondantes concrétions de minerai, pouvant s'enfoncer jusqu'à plusieurs dizaines ou même une centaine de mètres de profondeur ; là, au contraire, les eaux auront ruisselé sur des roches serpentinisées devenues poreuses et les auront imbibées de nickel au point d'en faire des minerais exploitables ; plus loin elles auront trouvé leur chemin tout autour de blocs compacts de péridotite dans des matières terreuses et désagrégées sur lesquelles elles auront déposé leur métal en même temps qu'elles minéralisaient plus ou moins la superficie des blocs. Mais partout le nickel, dissous des roches démantelées, paraît s'être concentré dans les points que la nature des roches ou la forme du terrain rendaient le plus favorables à son dépôt. On peut donc, à notre avis, espérer le rencontrer en gisements plus ou moins riches successivement dans tous les massifs de péridotite de la colonie, car, bien que nos analyses n'aient naturellement porté que sur un nombre restreint d'échantillons, mais provenant des régions les plus diverses de la formation serpentineuse, nous croyons pouvoir affirmer que toutes les péridotites de la Nouvelle-Calédonie sont nickelifères.

Nous nous séparons donc encore sur ce dernier point de M. Levat et aussi de M. Pelatan, qui, dans les mémoires que nous avons déjà si souvent cités, signalent un certain nombre d'alignements de massifs nickelifères ; pour M. Levat, ces alignements sont étroits, puisque la largeur

des lignes suivant lesquelles se répartissent les districts nickelifères ne serait en général que de 600 à 800 mètres, et qu'en dehors d'elles il n'y aurait que des enrichissements locaux et sans continuité; M. Pelatan est déjà moins affirmatif, et fait simplement connaître que l'on a remarqué que les principaux gisements de nickel « se trouvent disposés suivant certains alignements spéciaux », mais que « les alignements nickelifères déjà bien déterminés sont nombreux » et qu' « il s'en trouve de plus ou moins notables dans tous les massifs serpentineux »; pour lui, ceux qui méritent le mieux de fixer l'attention sont:

1° L'immense alignement qui suit les limites vers l'Ouest et vers le Nord du grand massif serpentineux du Sud sur plus de 100 kilomètres depuis le mont Dore jusqu'à Nakety, et qui englobe les mines de la Dumbéa, de la Tontouta, de la Ouenghi et surtout le célèbre district minier de Thio;

2° L'alignement allant de la baie de la Rencontre à Thio sur la côte Est, et que jalonnent les mines de Ni, de Brindy et de Port-Bouquet;

3° L'alignement de Nakety au mont Arembo, qui passe par les mines de Canala, de Kouaoua et de Méré;

4° L'alignement du mont Boa au mont Adio, dans le centre de l'île, remarquable par les gîtes du mont Krapet;

5° L'alignement du mont Poya au mont Kopeto, avec les riches stockwerks, tout récemment découverts, des mines de Muéo et de Poya;

6° L'alignement du mont Koniambo au mont Katépahié.

Il suffit, à notre avis, de jeter un coup d'œil sur la *fig.* 2 de la Pl. XI pour voir combien ces alignements s'écartent souvent d'une ligne droite et combien de gisements signalés en sortent; et on est dès lors amené à renoncer à un semblable groupement, et à constater simplement, qu'à part quelques exceptions que nous avons déjà mentionnées (extrémité Sud de l'île, massif du dôme de

Tiebaghi et presqu'île de Poume), les minerais de nick paraissent abondamment répandus sur toute la formati serpentineuse de la colonie.

En résumé, quoi qu'il en soit des réserves que no avons dû faire au sujet de la richesse des massifs enc vierges, et quelque insuffisants même que soient les tr vaux de reconnaissance poursuivis soit sur les mi aujourd'hui abandonnées, soit même sur les mines exploitation, pour pouvoir permettre de hasarder mê une évaluation très grossière de l'importance des re sources en nickel qui subsistent actuellement dans not colonie, nous n'hésitons pas à les considérer comme extr mement considérables. Nous ne doutons pas d'ailleur que l'on ne soit frappé, avec nous, de constater par le quelques indications qui précèdent combien il y a pe d'entre les régions où s'étale la formation serpentineus régions qui couvrent un espace de 600.000 hectares ra pelons-le, où l'on n'ait trouvé ici ou là de riches minera de nickel, et où il ne soit parfaitement légitime, à not avis, de supposer que l'on puisse ouvrir des mines fru tueusement exploitables. Dans beaucoup d'entre elles, a d'ailleurs déjà constaté, d'une façon plus ou moi certaine et sur une étendue plus ou moins vaste, l'exi tence de beaux gisements.

Nous pensons donc que, si quelques-uns des amas l plus riches ont aujourd'hui été déjà largement exploité et que si d'autres ont été plus ou moins complèteme gaspillés, il en subsiste vraisemblablement encore bea coup d'assez riches pour être fructueusement exploitable et qui sont susceptibles de fournir, pour un grand nomb d'années encore, une active extraction.

Il nous reste à indiquer dans ce qui suit dans quell conditions ont lieu aujourd'hui, et pourraient avoir li dans l'avenir, ces exploitations.

CHAPITRE III.

CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE L'EXPLOITATION DU NICKEL.

Les indications qui précèdent suffisent à montrer que les différentes mines actuellement exploitées, et surtout celles que l'on peut encore songer à mettre en exploitation en Nouvelle-Calédonie, se trouvent dans des conditions économiques très différentes, qui sont susceptibles de faire varier du simple au double, souvent même sur une plus large échelle encore, les différents facteurs du prix de revient. Nous nous proposons de fournir maintenant quelques indications un peu plus précises sur ces différents facteurs; nous les partagerons en trois groupes: l'abatage, le triage et la manutention sur carrières, — les transports et l'embarquement, — et enfin les dépenses d'installations et les frais généraux.

Tous les chiffres que nous avons pu recueillir à ce sujet se rapportent toujours à la tonne de minerai humide, tandis que les teneurs sont calculées sur le minerai sec; il y a donc là une cause de confusion, puisque les deux chiffres, relatifs l'un au prix de revient, l'autre à la quantité de métal contenue, c'est-à-dire à la valeur du minerai, se rapportent à des poids différents, et souvent très différents, de ce minerai. Nous conserverons dans ce qui suit les chiffres de prix de revient calculés par tonne humide, tels qu'ils nous ont été fournis, mais nous les ferons suivre des chiffres approximatifs relatifs à la tonne de minerai sec.

A. — Abatage, triage et manutention sur carrières.

Nous ne croyons pas avoir à revenir sur les exploitations souterraines, qui ont été la règle dans les premiers jours de l'extraction du nickel en Nouvelle-Calédonie, mais auxquelles n'ont pas tardé à se substituer progressivement les exploitations à ciel ouvert, qui seules se poursuivent aujourd'hui, et qui paraissent très certainement devoir être continuées à l'avenir à l'exclusion de tous travaux souterrains. Les indications qui suivent se rapporteront donc uniquement aux exploitations à ciel ouvert.

Comme nous l'avons mentionné à maintes reprises, une telle exploitation ne va en aucun cas sans l'abatage, en même temps que du minerai, de quantités toujours considérables de stérile, qu'il faut non seulement abattre, mais encore trier, puis évacuer ; il faut en outre, avant de pouvoir atteindre les parties minéralisées du gîte, enlever des terres de recouvrement stériles (généralement des argiles rouges) ; après le triage, il faut encore grouper les minerais à la tête de l'engin à l'aide duquel ils sont descendus au pied de la mine, d'où ils sont enfin expédiés. Nous dirons donc d'abord quelques mots de l'enlèvement des terres de recouvrement, puis de l'abatage des masses minéralisées, du triage, de l'évacuation du stérile, et enfin des transports accessoires du minerai sur la mine même.

L'enlèvement des terres de recouvrement est une charge essentiellement variable d'une mine à l'autre : lorsqu'on exploite des minerais rocheux dont les escarpements affleurent au jour et ne peuvent d'ailleurs pas retenir de masses terreuses ou argileuses, cette partie du travail est supprimée ou peu s'en faut ; dans d'autres

gisements, au contraire, qui sont précisément ceux que l'on tend à exploiter de plus en plus aujourd'hui, le sol est recouvert d'une couche plus ou moins épaisse d'argile rouge de laquelle émergent seulement quelques têtes rocheuses ; il faut alors procéder à des découverts. Ceux-ci ne se font d'ailleurs le plus souvent qu'au fur et à mesure de l'avancement des gradins des carrières : on a seulement soin d'enlever l'argile rouge à la couronne des chantiers sur quelques mètres en avance, ou au moins d'y pratiquer un talus à pente suffisamment douce pour éviter que l'effritement de ces argiles au soleil ou au contraire leur entraînement par la pluie ne les amènent jusqu'au front de taille et ne salissent ainsi le minerai. Dans ces conditions, l'enlèvement des terres de recouvrement n'est souvent pas distingué de l'abatage normal du stérile, et il est difficile d'en apprécier l'influence sur le prix de revient, d'autant plus qu'il est impossible de donner aucun chiffre sur les épaisseurs, toujours variables d'un point à l'autre, des terres de recouvrement que l'on est amené à enlever dans les différents cas, et sur le rapport entre leur épaisseur et celle des traînées minéralisées que l'on exploite au-dessous d'elles ; tout ce que nous pouvons dire, c'est que nous n'avons nulle part vu poursuivre d'exploitation sous des épaisseurs quelque peu notables, c'est-à-dire dépassant un petit nombre de mètres, d'argiles rouges. Dans une seule des exploitations que nous avons visitées, on tenait un compte exact des journées de main-d'œuvre consacrées aux travaux improductifs, c'est-à-dire non seulement à l'enlèvement des terres de recouvrement, mais encore aux terrassements, poses de voies sur les carrières, installations diverses, etc. ; le nombre des journées de main-d'œuvre qu'ils nécessitaient variait, suivant les points, de 20 à 35 p. 100 du nombre total des journées de main-d'œuvre consacrées, sur la mine même, à l'ensemble des

différents travaux que nous avons énumérés ci-dessus cela correspond à une dépense que nous croyons pouvo évaluer grossièrement comme variant de 3 à 15 fran par tonne de minerai humide, soit 4 à 20 francs envir pour le minerai sec.

L'abatage des masses minéralisées est parfois très ais lorsqu'il s'agit de poches et de traînées de minerais te reux et pulvérulents qu'il suffit de désagréger à la pioch mais, le plus souvent, il comporte l'emploi du pic et de pince, pour dégager les blocs rocheux parfois très vol mineux du magma bréchoïde qui les empâte, ou po briser les concrétions qui les réunissent ; d'autres fois mais c'est là un cas qui devient un peu exceptionnel l'abatage se poursuit à l'aide de coups de mine dans d roches serpentineuses dures au milieu desquelles coure des filonnets plus ou moins riches. Ajoutons d'ailleurs q l'abatage comprend en outre, dans les deux derniers c tout au moins, la séparation, à l'aide du pic généra ment, des parties minéralisées, enduits et filonnets silicate ou croûtes de serpentine décomposée, qui adhère aux blocs.

Dans de telles conditions, le rendement par ouvr occupé à l'abatage ne peut être que très variable, et a lui le prix de revient d'abatage ; d'ailleurs, ni l'un l'autre de ces deux éléments n'a une signification ab lue : d'une part, le rendement individuel varie beauc avec la catégorie des travailleurs employés, surt lorsqu'il s'agit de travaux de force, comme l'abatage, p lesquels tout le monde s'accorde à reconnaître qu' journée de travailleur blanc est notablement plus prod tive qu'une journée de travailleur jaune ou éventue ment de travailleur noir ; d'autre part, les prix de jour qui sont alloués à ces différentes classes d'ouvriers sont pas toujours exactement en rapport, comme

serait tenté de le supposer, avec l'efficacité de leur travail. Sous réserve de ces observations, nous pouvons dire que les frais d'abatage proprement dit varient généralement entre 5 et 15 francs(*) par tonne de minerai humide (7,50 à 20 francs par tonne sèche)(**). La variation de ces chiffres d'une mine à l'autre correspond non seulement aux différences profondes dans l'état d'agrégation des masses à abattre, mais encore à la minéralisation plus ou moins riche de ces masses. Nous avons fourni à mesure, pour quelques mines, des chiffres permettant de se faire une idée des limites entre lesquelles peut varier la minéralisation ; sans s'arrêter à certaines carrières particulièrement riches, et cela d'une façon qui n'est souvent que momentanée, on peut dire qu'il est rare qu'il ne faille pas en moyenne remuer au moins 3 ou 4 mètres cubes de matières (cubées abattues, c'est-à-dire telles qu'on les manipule) par tonne de minerai humide produit, ce qui laisse encore à un bon ouvrier uniquement occupé à l'abatage la possibilité de produire par jour plusieurs tonnes de minerai ; ce sont là des chiffres relatifs aux mines les mieux partagées, et un chiffre moyen nous paraît être celui de 6 à 8 mètres cubes par tonne de minerai ; ces chiffres sont d'ailleurs souvent dépassés, même dans des mines où l'abatage se poursuit en roche dure, et nous rappellerons celui que nous donnions ci-dessus, comme une limite que des circonstances spéciales

---

(*) Les frais que nous indiquons ici et que nous indiquerons dans la suite sont calculés en tenant compte des salaires nominaux des ouvriers ; ils doivent être en pratique diminués dans une large proportion (variant vraisemblablement de 20 à 40 p. 100 suivant les exploitations) en raison de la coutume, sur laquelle nous reviendrons dans la suite, du paiement de la majeure partie des salaires en vivres ou marchandises diverses, sur lesquels l'exploitant prélève un important bénéfice.

(**) Rappelons que, pour les minerais faciles à abattre, c'est-à-dire les minerais terreux, la proportion d'humidité est notablement plus forte que pour les minerais rocheux, plus difficiles à exploiter.

permettent seules d'atteindre, de 10 à 11 mètres cubes de roche, généralement dure, abattus par tonne de minerai produit ; il est bon d'ajouter que les chiffres les plus faibles que nous citons ci-dessus doivent être majorés de plus d'un tiers pour passer à la tonne de minerai sec, tandis que les derniers n'ont guère à être majorés de plus d'un cinquième.

On peut donc dire que par tonne de minerai sec on abat et on manipule, suivant les mines, de 4 mètres cubes 1/2 à 12 ou 13 mètres cubes de stérile (mesurés abattus), et que, dans ces conditions, un ouvrier occupé uniquement à l'abatage peut produire par journée depuis moins d'une tonne jusqu'à 2 tonnes et demie de minerai sec.

Après l'abatage, il est procédé au triage du minerai, qui est l'opération la plus minutieuse du travail ; cette opération commence d'ailleurs avec l'abatage même, et tout bon ouvrier doit apporter ses soins à ne pas abattre des parties que leur aspect indique comme richement minéralisées en même temps que d'autres qui sont pratiquement stériles ; cela devient surtout essentiel dans les mines à remplissage terreux : tandis qu'ici l'analyse a montré que tel aspect de matière pulvérulente correspond à une teneur payante, là on sait que telle autre nature de terre est d'une teneur trop faible pour que la masse puisse être utilisée ; il importe donc d'abattre séparément ces portions qu'un triage ultérieur ne saurait plus séparer. Cela est si nécessaire que c'est, pour une bonne part, en raison de l'impossibilité de prendre de tels soins en cas de pluie violente venant à délaver le front de taille, qu'il est d'usage constant de ne pas travailler sur les mines les jours de pluie. L'abatage à un même chantier comprend ainsi d'abord celui de matières que l'on sait être pratiquement stériles et que l'on enlèvera de suite, en ayant souvent même

soin de bien balayer le sol de la carrière sur lequel tomberont ultérieurement les minerais ; on attaque ensuite, s'il y a lieu, les parties réellement riches qui, soigneusement abattues, donneront, soit immédiatement, soit grâce à un triage facile, du minerai d'enrichissement ; enfin on fera tomber en dernier lieu les minerais mélangés, tels que les blocs à enduits ou à croûtes minéralisés, qui seront alors triés en détail ; tantôt le piqueur lui-même commence le triage en détachant des blocs les parties riches qui sautent sous le pic, tantôt ce sont des ouvriers spéciaux. Presque toujours le triage est terminé par des ouvriers spéciaux, et c'est là un travail auquel on emploie avec beaucoup de succès la main-d'œuvre jaune et surtout les Japonais. On n'a en effet recours à aucun procédé de triage mécanique, et de fait il ne semble pas que, pour des matières aussi complexes et aussi variables, il soit possible d'en adopter un. Presque toujours le triage débute par un classement de grosseur plus ou moins soigné.

Dans certaines mines, surtout celles où l'on poursuit de petits filonnets de minerai riche dans les fractures de la roche dure, le triage est très minutieux ; dans d'autres, au contraire, où l'on abat des masses terreuses très peu homogènes, le triage se fait pour ainsi dire au front de taille en abattant séparément les diverses catégories de matières dont l'expérience, contrôlée par des analyses journalières très nombreuses, permet de reconnaître à l'aspect la teneur approximative. Dans le premier cas on procède d'abord à un criblage : la maille du crible, appropriée aux conditions spéciales du chantier, a été choisie par expérience de manière à ne laisser passer que des fragments qui, dans l'ensemble, auront une teneur suffisante ; le refus de ces cribles est alors soigneusement trié à la main et cassé au marteau par des ouvriers spéciaux : c'est l'opération classique du scheidage. Elle produit généralement, en même temps que des minerais mixtes, mais encore payants,

des minerais riches dont la teneur peut atteindre et même dépasser 9 et 10 p. 100.

C'est là un mode de triage nécessairement onéreux et qui n'existe plus que dans un petit nombre d'exploitations; plus souvent le classement de grosseur est fait beaucoup plus sommairement au râteau : dans les chantiers à minerai terreux, lorsque l'abatage est bien conduit, on peut en effet se contenter d'éliminer des matières terreuses payantes les fragments rocheux qui peuvent y être noyés ou ceux qui ont pu y tomber, le râteau suffit à cet usage ; dès lors le triage se réduit à l'examen de ces fragments rocheux, au dépeçage des gros blocs dans les conditions que nous avons indiquées, et éventuellement aux opérations minutieuses que nous venons de dire, lorsque l'on tombe sur une de ces cheminées à concrétions riches ou sur une partie de gisement à allure filonienne.

Le triage ainsi pratiqué donne lieu à la séparation des matières abattues en stérile immédiatement évacué, en minerais riches généralement conservés pour enrichir les lots pauvres, et enfin en une série de tas de minerais moyens, que l'on a le plus souvent grand soin de mettre à part suivant qu'ils proviennent d'un coin ou l'autre du front de taille ou qu'ils ont des aspects différents ; chacun ne sera incorporé à la masse du minerai marchand qu'après qu'une analyse en aura vérifié la teneur ou que, si c'est nécessaire, cette teneur aura été relevée au taux convenable par addition de minerai d'enrichissement. Le minerai est alors prêt à être descendu.

Comme nous l'avons dit, et comme cela résulte des explications qui précèdent, le triage n'est pas pratiquement séparé de l'abatage, les mêmes ouvriers sont souvent occupés alternativement à l'un et l'autre travail ; aussi les chiffres que nous avons pu recueillir pour préciser les frais qu'entraînent ces opérations ne se rapportent-ils qu'à l'ensemble de l'abatage et du triage. Dans ces conditions,

le rendement par homme occupé à l'abatage et au triage était voisin de 225 kilogrammes seulement (175 kilogrammes secs) pour une exploitation de filonnets riches très disséminés dans une roche dure ; ce chiffre s'élevait à 350 kilogrammes (280 kilogrammes secs) pour un gîte de minerai bréchoïde dur généralement concrétionné ; pour des minerais terreux, il était de 425 kilogrammes (310 kilogrammes secs) dans une mine dont le gisement était assez pauvre, tandis qu'il atteignait, au contraire, 1.050 kilogrammes (750 kilogrammes secs) dans un gisement du même type, mais plus favorisé par les conditions naturelles, et tandis qu'il peut même s'élever, pour des chantiers d'une richesse exceptionnelle, jusqu'à 1 tonne 1/2 ou même 2 tonnes de minerai humide. Les prix de revient correspondants varient alors de 8 à 30 francs par tonne de minerai sec.

L'évacuation des déblais ne laisse pas d'être une question importante dans des mines qui produisent toujours plusieurs fois autant de stérile que de minerai, et qui arrivent parfois à en produire jusqu'à 10 fois autant et même plus; c'est dès lors par 100.000 tonnes que se chiffre annuellement le poids des déblais dont il faut se débarrasser dans une exploitation importante. Le relief du sol se prête d'ailleurs très aisément à l'évacuation des déblais, car il n'est pratiquement pas de mine de nickel en Nouvelle-Calédonie à peu de distance des chantiers de laquelle ne se trouve quelque ravin à pente suffisamment rapide pour que les déblais puissent y être précipités presque indéfiniment. Une telle manière de faire ne serait pas sans de graves inconvénients dans un pays plus habité ou plus cultivé; mais, les montagnes de la formation serpentineuse n'étant généralement propres ni à la colonisation ni à la culture et n'étant habitées que par les mineurs, ces inconvénients sont rarement ressentis ; cependant il

n'est pas sans exemple que, dans le désir d'économiser le plus possible sur ces transports de déblais, on ait parfois déversé le stérile de manière à recouvrir des portions minéralisées de la surface, et, aujourd'hui encore, il arrive fréquemment que les amodiataires de mines ne se préoccupent nullement d'éviter pareil gaspillage.

Dans ces conditions, les différents gradins des carrière de chaque mine sont presque toujours prolongés par un petite voie ferrée jusqu'au bord de quelque ravin suffisam ment abrupt pour servir de décharge ; une plateforme e ménagée dominant le ravin, et le déblai amené par d wagonnets y est culbuté. Les frais, généralement ass faibles, afférents à ces roulages, sont partout comptés av les frais de transport du minerai sur carrières, dont nous reste à parler.

Dans toutes les exploitations actuellement en activit sauf une seule, celle de Népoui, le transport des minera depuis les chantiers jusqu'au point d'embarquement fait en sacs. C'est là une pratique qui a été adoptée d le début de l'exploitation du nickel pour éviter que, da des manutentions successives de chargement et de d chargement, le minerai ne fût sali par le contact avec sol plus ou moins argileux et souvent boueux ; les sa constituaient, en outre, un récipient assez commode l'époque où les installations de transport dont on disp sait étaient des plus sommaires. Aujourd'hui, une tel pratique a perdu beaucoup de son utilité pour toutes l exploitations un peu importantes, et une modification p coûteuse au matériel de transport permettrait, comme l'a fait avec beaucoup de raison à Népoui, de supprim la dispendieuse opération de l'ensachage. Donc, dans plupart des carrières, une fois le minerai trié et u fois les tas de différentes qualités analysés, afin de reco naître s'ils peuvent être expédiés tels que, s'ils doive

être rejetés, ou bien enrichis, on procède à l'ensachage dans des sacs de jute, qui sont ensuite cousus. C'est là une opération encore minutieuse, et qui coûte de 0fr,75 à 1 franc par tonne (1 franc à 1fr,50 par tonne sèche) ; elle est souvent exécutée à forfait par un groupe d'ouvriers, qui reçoivent suivant le cas de 25 à 40 francs par 1.000 sacs remplis et cousus ; chaque sac tient de 30 à 40 kilogrammes de minerai humide. Il faut d'ailleurs, pour apprécier la dépense totale d'ensachage, ajouter aux frais de main-d'œuvre les dépenses correspondant à l'usure des sacs, qui est extrêmement rapide ; celle-ci est variable suivant l'importance et le nombre des manutentions subies par le minerai entre le moment où il est ensaché et celui où il est sorti des sacs pour être entassé au bord de la mer, elle représente au moins 0fr,75 à 1 franc par tonne (*) ; si l'on tient en outre compte du surcroît de main-d'œuvre à l'entassement que comporte cet ensachage, on arrive à cette conclusion que l'ensachage charge rarement le prix de revient de moins de 2 francs par tonne de minerai (2fr,50 à 3 francs par tonne sèche). On voit par là que, pour une exploitation importante, la suppression de l'ensachage justifierait les frais de modification du matériel.

Une fois le minerai ensaché sur le sol même du gradin de la carrière où il a été abattu, il est transporté à niveau sur wagonnets plats circulant sur rails, puis descendu jusqu'au point où il est groupé pour être expédié au pied de la mine.

Cette première descente a quelquefois lieu à dos d'hommes ; d'autres fois elle se fait de gradin en gradin dans des couloirs successifs en bois d'inclinaison convenable ; d'autres fois encore, on se sert de petits câbles,

(*) Les sacs coûtent, rendus sur place, entre 35 et 40 centimes pièce ; ils font rarement plus de 10 à 12 voyages complets entre la mine et le tas ; c'est dire qu'on en use au moins deux par tonne transportée.

soit du type des câbles à crochets, soit du type des câbles à roulettes, dont nous ferons mention ci-après. Enfin, lorsque les différents gradins d'un même groupe de carrières sont convenablement disposés, on peut avoir recours à un plan incliné à chariot porteur ordinaire, sur la plateforme duquel on charge les sacs; tel est le cas de l'exploitation des Bornets à Thio.

A Népoui, où l'on ne procède pas à l'ensachage, les gradins d'une même carrière sont desservis par un large couloir en bois convenablement conditionné pour permettre, sans danger de perte ni de mélange à aucune matière étrangère, la descente spontanée du minerai tant qu'il n'est pas trop humide; dans ce dernier cas, un homme est quelquefois nécessaire pour aider à la descente de la masse, souvent argileuse, qui tend à se coller aux parois; le minerai, directement culbuté hors des wagonnets qui circulent sur les voies des différents gradins, descend ainsi jusqu'au point de groupement, et y tombe dans des trémies, d'où il est ensuite déchargé pour être descendu au fond de la vallée. La dépense de main-d'œuvre d'ensachage est ainsi évitée, en même temps que celle qui est relative au transport des minerais sur carrière se trouve diminuée; les frais de premier établissement ne sont d'ailleurs pas sensiblement plus élevés que ceux que l'on ferait, même dans des gisements aussi concentrés, pour permettre le même transport en sacs.

La dépense occasionnée par ces transports secondaires des minerais sur carrières est naturellement variable suivant la disposition du gîte et suivant la position du point où l'on groupe les minerais; importante lorsque les minerais doivent être descendus d'une série de chantiers disséminés et éloignés, elle devient beaucoup plus restreinte lorsqu'un petit nombre de gradins à forte production sont bien groupés.

Les frais globaux de main-d'œuvre pour l'évacuation

du stérile, l'ensachage s'il y a lieu, et le transport sur carrières, varient généralement entre 2fr,50 et 4 francs par tonne humide ; si l'on en déduit la main-d'œuvre consacrée à l'ensachage, dont nous avons déjà tenu compte ci-dessus, ces chiffres peuvent être réduits à 2 ou 3 francs par tonne de minerai humide (3 francs à 4fr,50 par tonne sèche).

Les différents éléments du prix de revient du minerai sur carrières, c'est-à-dire du minerai rendu au point où les produits des différents chantiers sont groupés pour être descendus au pied de la mine, peuvent donc s'évaluer comme suit *pour une tonne de minerai sec :*

	Fr.		Fr.
Abatage et triage	8,00	à	30,00
Transport sur carrières, y compris l'évacuation du stérile	3,00	à	4,50
Travaux préparatoires, terrassements divers, etc.	4,00	à	20,00
Ensachage (s'il y a lieu)	2,50	à	3,00

Il ne serait naturellement pas bien exact de totaliser d'une part les chiffres minimum ci-dessus et d'autre part les chiffres maximum, pour en déduire les maximum et minimum entre lesquels varient pratiquement les prix de revient totaux. Cependant il est à peu près exact de dire que, lorsque l'on exploite sans souci du lendemain les plus riches portions d'un beau gîte, les frais courants d'exploitation, sans tenir compte d'aucun amortissement, ne représentent souvent pas plus d'une quinzaine de francs par tonne de minerai sec, ce qui correspond à peu près au chiffre de 10 francs par tonne humide qui nous a été donné par plusieurs exploitants. Lorsque l'on cherche au contraire à tirer parti complètement de toutes les portions pratiquement utilisables d'un gîte déjà aménagé et pourvu de moyens de transport économiques, on peut aller jus-

qu'à des prix de revient d'une cinquantaine de francs par tonne de minerai sec à 7 p. 100.

B. — Transports et embarquement.

Toujours exploités à flanc de montagne, et le plus souvent à des altitudes de plusieurs centaines de mètres, les minerais peuvent généralement être amenés jusqu'au rivage par le seul effet de la gravité; c'est dire que les frais de transport se réduisent, en dehors des dépenses de premier établissement, à des frais de main-d'œuvre d'autant moins élevés que les installations sont plus perfectionnées et que les tonnages à transporter par les mêmes engins sont plus considérables.

Le transport, à proprement parler, comprend presque toujours deux phases successives, la descente jusqu'au pied de la mine, c'est-à-dire jusqu'au fond de la vallée ou jusqu'à un point de la côte où la pente du terrain devient très faible, puis un transport jusqu'au bord de la mer ou d'une rivière flottable, le long d'une pente relativement faible, qu'on peut appeler un transport horizontal par comparaison avec le précédent. Au bord de l'eau, le minerai est entassé; il est ultérieurement repris pour être embarqué dans des chalands et amené au bateau qui doit l'exporter, point où a lieu la livraison à l'acheteur.

La descente du minerai se fait uniquement à l'aide de câbles, engins relativement peu usités dans nos pays, mais qui, en Nouvelle-Calédonie, sont les auxiliaires indispensables du mineur, à tel point que nous pouvons dire sans exagération que, sans les câbles, l'exploitation économique des minerais de nickel de notre colonie serait à peu près impossible. Comment, en effet, aller chercher, sans dépenses excessives, au sommet de montagnes escarpées, hautes de plusieurs centaines de mètres, les milliers de tonnes qui constituent les produits d'une exploitation,

our les amener au pied de ces montagnes; et comment eur faire franchir des gorges profondes où courent des aux sauvages, un jour en minces filets, et le lendemain n torrents charriant des blocs énormes, et leur faire ôtoyer des mamelons couverts d'une brousse inextri-able?

Le câble seul, avec sa souplesse d'adaptation, est suscep-ible de satisfaire à de semblables nécessités. Aussi est-universellement employé sous l'une des trois formes que istingue M. l'Ingénieur en Chef des Mines Babu, dans e mémoire(*) par lequel il a fait connaître les modes de ransport du minerai employés il y a dix ans en Nouvelle-Calédonie, modes de transport qui n'ont guère subi de nodifications depuis lors. Ces trois formes sont le câble inique, le plan incliné aérien, et la chaîne flottante aérienne ou transporteur. Nous ne donnerons sur chacun le ces engins que des renseignements très sommaires; nous renvoyons pour les deux premiers au mémoire si complet que nous venons de citer; quant au troisième, il est trop connu, et d'un emploi trop général dans divers pays du monde, pour que nous ayons à en entreprendre ici la description.

Le câble unique n'est qu'un câble d'acier, de 10 milli-mètres de diamètre le plus souvent, tendu entre deux chevalets en bois placés aux deux extrémités du par-cours à effectuer; la charge, qui doit descendre le long du câble par l'effet de son poids, y est suspendue tantôt par un crochet en bois dur graissé qui supporte une élingue, et tantôt par une roulette en fonte munie d'un crochet sup-portant également l'élingue qui enserre le sac de minerai

(*) *Les plans inclinés aériens de la Société d'exploitation des mines de nickel en Nouvelle-Calédonie*, par M. L. Babu, ingénieur au Corps des Mines, directeur de la Société d'exploitation des mines de nickel (*Annales des Mines*, 9e série, t. VI, p. 593 et suiv. ; 1894).

à transporter (ce mode de transport n'est employé que pour le minerai ensaché). A la recette inférieure, on dispose en avant du chevalet un épais matelas de broussailles, de jonc, ou de foin, constituant un tampon au pied duquel le sac vient tomber après amortissement de sa vitesse. La suspension par crochets ne peut être utilisée que pour les pentes dépassant 8 à 9 p. 100, avec des pentes moindres les sacs resteraient trop souvent en route ; pour les pentes dépassant 20 p. 100, il est employé à l'exclusion de la roulette, qui laisserait prendre à la charge une vitesse excessive, entraînant de trop fréquents déraillements; la roulette fonctionne bien pour des pentes moyennes, avec minimum de 5 ou 6 p. 100. La main-d'œuvre qu'exige le service d'un semblable engin est restreinte : deux hommes au sommet suffisent à élinguer les sacs et à les suspendre, deux hommes à la base les reçoivent ; on atteint facilement, dans ces conditions, un débit de 15 tonnes par journée de 9 heures. Il faut ensuite remonter les sacs, les élingues, et les roulettes ou crochets, quelquefois à dos d'hommes, plus souvent à l'aide d'un ou de plusieurs chevaux de bât suivant le parcours à effectuer.

D'une installation peu coûteuse, puisqu'il n'y a guère que la valeur du câble et les frais de pose à compter, soit en moyenne 1fr,50 par mètre courant, un tel câble peut assurer au total, suivant M. Babu, la descente de 2.000 tonnes de minerai; il peut être utilisé sur des longueurs considérables, dépassant 1.000 mètres. Mais il donne lieu à des pertes importantes de minerai, car tout incident dans la descente, déraillement ou arrêt du sac au milieu de sa course, aboutit nécessairement à la chute de la charge au fond de quelque ravin, c'est-à-dire à la perte du minerai, du sac, de l'élingue, et de la roulette. Un câble de 1.100 mètres de longueur et de 9° de pente moyenne donnait ainsi lieu, suivant M. Babu, à une perte de minerai de 6,5 p. 100.

Le câble unique est surtout employé pour franchir les
tites distances qui séparent les carrières d'un même
oupe : c'est l'engin le plus habituel de la concentration
minerai sur carrières; dans ce cas les pertes de mine-
sont doublement réduites, à la fois en raison du peu
longueur des trajets et en raison de la possibilité de
trouver, bien souvent intacts ou à peu près, les sacs
nbés d'une faible hauteur sur des pentes accessibles.
t engin est, en outre, employé parfois pour la descente
minerai jusqu'au pied de la mine, c'est-à-dire pour
cheter des différences de niveau de plusieurs centaines
mètres et des distances horizontales variant de quelques
ntaines de mètres à plusieurs kilomètres; dans ce der-
er cas, il faut avoir recours à plusieurs câbles successifs
utant d'un contrefort à l'autre de la montagne. C'est là
mode de descente le plus fréquent pour les mines de
balt, où le tonnage produit est faible; il est néanmoins
icore usité sur plusieurs mines de nickel; l'exemple le
us remarquable que nous en ayons rencontré est celui
e la mine Prise-de-Rivoa, où quatre câbles successifs
escendent le minerai depuis la cote 480 jusqu'au bord
ième de la mer; deux d'entre eux ont respectivement
.100 et 1.200 mètres de longueur; la perte de minerai
laquelle ce transport donne lieu atteindrait près de
5 p. 100.

Plus fréquents sont aujourd'hui les plans inclinés
ériens comme engins principaux de descente des mine-
ais de nickel. Leur principe est des plus simples et se
approche beaucoup de celui des plans inclinés à deux
oies de nos mines : deux câbles porteurs, convenable-
ient tendus, tiennent lieu de voies, et les deux bennes,
leine et vide, qui devraient circuler sur ces deux voies
ttachées aux deux extrémités d'un câble passant sur une
oulie munie d'un frein, sont remplacées par deux chariots

ou deux bennes suspendus au câble porteur par des roulettes et remorqués par un câble tracteur qui passe sur une poulie freinée. Tantôt le câble tracteur est unique, à l'exemple de ce qui a lieu pour la plupart des plans inclinés de mines; tantôt, au contraire, il est doublé par un câble de retour constituant avec lui un circuit sans fin et venant passer sur une deuxième poulie établie à la base du plan; le principal avantage de cette dernière disposition est de permettre de réaliser une tension plus grande du câble tracteur et d'éviter qu'il ne vienne à trainer sur le sol, ce qui augmente très rapidement son usure; cela permet en outre, comme on l'a fait quelquefois, mais ce qui n'a pas grand intérêt à notre avis, de placer la poulie de frein au pied du plan; mais, par contre, les résistances passives étant augmentées, la pente minima avec laquelle peut fonctionner un plan à tracteur double est plus forte que dans le cas du tracteur simple.

Le plan incliné aérien présente sur le câble unique des avantages évidents : suppression de la remonte des sacs vides, puisque à chaque cordée on remonte à vide le chariot qui vient de descendre une série de sacs ou la benne qui contenait le minerai en vrac, et que rien n'est plus aisé que d'y charger du matériel; on en profite, en outre, pour monter, par petites fractions, tous les approvisionnements courants nécessaires sur la mine. Les pertes de minerai par chutes sont, d'autre part, incomparablement moins considérables qu'avec le câble unique; enfin, bien que les vitesses de circulation que l'on y réalise soient moins considérables, le débit de ces engins est pratiquement beaucoup plus élevé (une soixantaine de tonnes par journée de 9 heures aisément), car ils sont toujours munis d'un câble porteur pouvant supporter le poids de plusieurs sacs à la fois. Inversement les frais de premier établissement sont beaucoup plus importants, puisque au lieu d'un câble porteur il en faut deux, plus

une longueur de câble tracteur, sinon deux, des chariots, une ou deux poulies, dont l'une freinée, et enfin des amarrages (qui, en pratique, sont toujours fixes et jamais réglables par contrepoids) suffisamment solides; en dehors de ces frais de fournitures, la main-d'œuvre pour la pose est souvent très coûteuse, surtout lorsqu'il s'agit de transporter jusqu'à un point élevé et difficilement accessible l'extrémité d'un câble d'un poids considérable (*).

Les devis de deux installations que nous avons vues se montaient aux chiffres suivants (prix de revient des matières premières comptées au pied de la mine) :

1° Pour un plan de 850 mètres de longueur à tracteur double :

	Francs.
2.000 mètres de câble porteur (150 mètres de réserve pour chaque câble) de 18 millimètres de diamètre....	2.600
1.750 mètres de câble tracteur de 8 millimètres de diamètre..	700
Main-d'œuvre pour monter les câbles jusqu'au sommet de la mine..................................	300
Une poulie freinée à double gorge pour la tête du plan.	300
Une poulie de retour pour le câble tracteur à la base du plan..	150
Main-d'œuvre pour la mise en place et la tension des câbles.	200
Fournitures pour les deux amarrages (bois, fer, etc.)...	200
Deux chariots à roulettes............................	50
TOTAL........................	4.500

Soit, par mètre, 5fr,30.

2° Pour un plan de 1.200 mètres de portée, avec un chevalet de support intermédiaire, muni d'un tracteur double :

(*) Voir les indications que donne à ce sujet M. Babu. *loc. cit.*, p. 636 et suiv.

	Francs.
2.500 mètres de câble extra-fort de 25 millimètres de diamètre	8.300
2.500 mètres de câble tracteur de 10 millimètres de diamètre	1.800
Main-d'œuvre pour monter les câbles au sommet de la mine	2.000
Deux poulies, dont une freinée	450
Main-d'œuvre pour la mise en place et la tension des câbles	300
Fournitures pour les deux amarrages	550
Deux chariots à roulettes disposées pour le passage sur le chevalet intermédiaire	300
Chevalet intermédiaire	250
Divers	200
TOTAL	14.150

Soit, par mètre, 11^fr,80 ; ce dernier exemple, d'un câble difficile à installer et très robuste, destiné au transport d'un tonnage important, peut être considéré comme représentant à peu près le maximum de la dépense par mètre courant.

Quant aux frais d'exploitation, ils sont à peine plus élevés que ceux des câbles uniques, si on les compte par chaque engin, puisqu'il peut suffire d'ajouter au personnel du câble unique un homme à la poulie de frein et qu'il n'y a à augmenter le personnel des manœuvres que si le débit augmente très notablement ; celui-ci peut en effet être accru sans dépasser ce que deux hommes peuvent aisément manutentionner à chaque recette ; les frais de main-d'œuvre par tonne se trouvent ainsi considérablement diminués. Le débit d'un plan incliné aérien de portée moyenne est couramment de 25 à 30 tonnes par journée de 9 heures avec 3 hommes à la tête du plan et 2 au pied ; il peut sans difficulté être élevé jusqu'à 60 tonnes, et même 70, en portant le personnel à 5 hommes à la tête et 4 au pied du plan, et en donnant au câble une dimension suffisante pour qu'il puisse supporter une charge utile de 300 à 400 kilogrammes. Les frais courants de descente

avec un tel engin ne dépassent pas alors $0^{fr},50$ par tonne ($0^{fr},70$ par tonne sèche). Ajoutons qu'un plan incliné aérien franchit plus aisément encore qu'un câble unique des distances considérables, jusqu'à 1.600 mètres actuellement, et que, s'il exige une pente un peu plus forte qu'un câble à roulettes, soit au minimum 8 p. 100 pour un câble à simple tracteur et 12 p. 100 pour un câble à double tracteur, il se prête beaucoup mieux à des pentes très fortes (30 ou 35 p. 100). Enfin l'entretien et les frais de renouvellement du matériel sont beaucoup moindres ; les câbles tracteurs peuvent servir pendant deux ou trois ans; les câbles porteurs durent un plus grand nombre d'années, assurant ainsi dans certains cas le transport de plusieurs dizaines de milliers de tonnes; l'amortissement de l'installation peut donc être réparti sur un nombre de tonnes tel qu'il ne représente que quelques décimes par tonne. De tels engins se prêtent parfaitement au transport des minerais en vrac; il suffit, comme on l'a fait à Népoui, de substituer au chariot destiné à recevoir des sacs, une benne suspendue de même au câble par l'intermédiaire de deux roulettes en fonte, benne qui reçoit généralement environ 300 kilogrammes de minerai.

Mentionnons enfin que parfois, au lieu de plans inclinés aériens, on emploie des plans inclinés ordinaires avec rails posés sur le sol convenablement aplani; une telle installation est plus coûteuse que celle d'un plan aérien, en outre il est généralement plus nécessaire que pour un plan aérien de couper un tel plan en plusieurs tronçons à raccorder par des voies horizontales, ce qui entraîne des frais d'exploitation considérables. De telles installations, existant par exemple au Plateau de Thio, ne paraissent se justifier que par leur ancienneté (*).

(*) Celle de Plateau du Thio vient d'ailleurs d'être remplacée par un plan incliné aérien unique substitué à une série de trois plans et d'une voie ferrée (Voir la *fig*. 2 de la Pl. XII).

Les chaines flottantes aériennes, ou transporteurs, sont d'une installation beaucoup plus coûteuse, puisque c'est par plusieurs dizaines de milliers de francs par kilomètre (environ 80.000 francs se partageant par moitié entre la dépense de matériel spécial rendu sur place, et les frais d'installation, constructions diverses, terrassements, montage, etc.) que se chiffrent les frais d'établissement de pareils engins en Nouvelle-Calédonie ; ils ont l'avantage, par rapport aux plans aériens, de fournir un débit beaucoup plus considérable encore et de permettre des économies de main-d'œuvre importantes. Ces avantages ne sont réels que pour des exploitations très productives, qui sont d'ailleurs les seules qui puissent répartir sur un tonnage suffisant les frais de premier établissement dont nous venons de parler.

Deux de ces installations existent actuellement en Nouvelle-Calédonie ; ce sont celles qui ont été faites par la société le Nickel à Thio et à Kouaoua.

L'installation de Thio, qui dessert la mine des Bornets, assure le transport jusqu'à la cote 25, tête du chemin de fer de la vallée de Thio (Voir la *fig.* 1 de la Pl. XII et la *fig.* 8 de la Pl. XIII), des minerais produits par cette mine et primitivement descendus à la cote 195 par un grand plan aérien unique de 980 mètres de portée ; le minerai, amené en sacs jusqu'à la tête du transporteur, y est déversé dans des trémies, d'où il est chargé dans les bennes du transporteur ; pour pouvoir utiliser tout le débit possible de celui-ci, il serait d'ailleurs nécessaire de doubler ce plan. Le transporteur, dont le parcours aérien est de 1.934 mètres, ne comporte pas moins de 14 pylônes de hauteurs variées atteignant jusqu'à 26 mètres, avec une portée maxima de 705 mètres pour franchir la profonde vallée de la rivière Nembrou à 70 mètres au-dessus de son lit. Cette installation, susceptible de débiter 200 tonnes par journée de 8 heures (bennes de 250 kilogrammes à vide portant 330 kilogrammes de minerai chacune), venait d'être

terminée au moment de notre séjour à Thio ; elle n'était pas encore en fonctionnement, mais elle devait remplacer incessamment le mode actuel de descente du minerai ; celui-ci comprenait, comme l'indique la *fig.* 8 de la Pl. XIII : un premier plan incliné aérien de 1.100 mètres de portée franchissant la vallée de la Nembrou, un deuxième plan incliné aérien de 400 mètres, un roulage à niveau de 1.000 mètres de longueur à la cote 150. et enfin un dernier plan incliné aérien de 400 mètres. Le service de ces plans et voie ferrée n'exigeait pas moins de 54 hommes par jour (pour un tonnage moyen de 60 tonnes à descendre) ; celui des nouvelles voies de transport exigera le personnel suivant :

	Hommes.
Roulage du pied des carrières à la tête du plan incliné aérien : trois manœuvres et quatre rouleurs	7
Service de la tête du plan incliné : un freineur et quatre manœuvres	5
Service du pied du plan incliné et des trémies	6
Service de la tête du transporteur	4
Service de la recette inférieure du transporteur	4
TOTAL	26

La substitution du nouveau mode de transport à l'ancien amènera donc une économie journalière de 28 ouvriers (ouvriers japonais), soit environ 140 francs, ce qui représente une économie annuelle de 35.000 francs, en comptant sur 250 jours ouvrables seulement par an, et sans parler des économies qu'on peut espérer réaliser sur l'entretien de ces engins.

On voit par là que, pour peu que la mine à laquelle une semblable installation est destinée offre des ressources de minerai suffisamment importantes pour qu'on puisse compter qu'elle maintiendra son tonnage pendant plusieurs années, l'économie des frais courants d'exploitation est susceptible de compenser promptement la dépense de premier établissement ainsi faite.

Le transporteur du même type établi à Kouaoua sert, tout d'abord à descendre des mines situées au fond de la vallée le minerai préalablement groupé à la cote 383, et ensuite à assurer son transport horizontal le long de la vallée jusqu'à la tête du chemin de fer qui dessert le port; il comprend d'ailleurs deux tronçons, qu'on peut considérer comme correspondant, le premier à la descente, et le second au transport horizontal; le premier est automoteur, tandis que le second est mû par un moteur à vapeur. Son développement total est de 6 kilomètres : il présente au milieu de sa longueur une station intermédiaire où sont amenés, par un plan incliné aérien, les produits d'une exploitation secondaire. Le personnel total qu'exige le service du transporteur n'est que de 4 hommes à la station supérieure, 3 à la station intermédiaire et 3 à la station de recette, soit un personnel total de 10 hommes pour un débit qui peut atteindre facilement 20 tonnes à l'heure; dans ces conditions, les frais courants afférents à ce transport de 6 kilomètres peuvent s'abaisser au-dessous de 1 franc par tonne humide (1^{fr},30 à 1^{fr},40 par tonne sèche); il faut pour cela que le tonnage à transporter soit important, comme il l'était au moment de notre séjour en raison du chargement d'un bateau de 3.600 tonnes en rade de Kouaoua; mais le transport de la production journalière du centre de Kouaoua, qui n'a été que de 60 tonnes au cours du premier semestre 1902, donne lieu d'habitude à des frais un peu plus élevés.

Ajoutons que, dans la plupart des mines, les opérations de transport sont confiées aujourd'hui à des Canaques; c'est là une des rares catégories de travaux auxquels ils se livrent volontiers; mais il est nécessaire de leur allouer des salaires journaliers de 2 et 3 francs, une nourriture assez abondante, et souvent une ration de vin, ce qui fait ressortir cette main-d'œuvre à un prix encore élevé.

Le transport horizontal des minerais entre le pied de la mine et le rivage a, pratiquement, toujours lieu aujourd'hui, pour les minerais de nickel, par voie ferrée. Dans la plupart des petites exploitations, une pente suffisante est ménagée pour que le transport depuis le pied de la mine jusqu'à la mer soit assuré par la gravité ; il a alors simplement lieu au frein ; parfois il comporte même, sur une partie de son parcours, un véritable plan incliné avec câble (cas où les nécessités locales n'ont pas permis de placer le point que nous avons appelé le pied de la mine assez près du rivage pour que les pentes jusqu'à la mer soient très faibles). Le transport se fait sur des plateformes montées sur trucs que l'on charge d'une quarantaine ou d'une cinquantaine de sacs chacune (2 tonnes); les plateformes et sacs vides sont ramenés au pied de la mine à l'aide d'un ou de deux chevaux. Les voies ferrées établies dans ces conditions sont des voies Decauville de 60 centimètres, légères (rails de 7 à 10 kilogrammes par mètre courant), et dont le tracé, sinueux s'il est nécessaire, comporte généralement fort peu de travaux d'art ; le prix de revient n'en atteignait pas moins, ces dernières années, 15.000 à 20.000 francs par kilomètre (8.000 à 10.000 francs de rails, 5.000 à 6.000 francs de terrassements dans les parties faciles du tracé, plus les ponts et travaux d'art divers) ; elles ont rarement moins de 4 à 5 kilomètres de développement.

Dans les exploitations plus importantes, le transport a lieu en vrac dans des wagons de une à plusieurs tonnes, chargés aux trémies établies au pied de la mine et déchargés au bord de la mer sur le tas qui constitue le stock.

A Népoui, le réseau ferré a un développement beaucoup plus considérable, soit 35 kilomètres ; nous l'avons représenté sur la *fig.* 3 de la Pl. XIII, et nous avons indiqué déjà comment il a été tracé. La voie est de 60 centimètres,

avec des poids de rail de 7, 10 et 12 kilogrammes par mètre courant suivant les sections ; elle est parcourue par des locomotives de 4 et 6 tonnes, suivant les sections (d'après l'échantillon du rail), remorquant des trains de 15 à 20 wagons de 3 tonnes et demie en charge (dont 2 tonnes et demie de poids utile), où le minerai est transporté en vrac. Les courbes ont des rayons variant de 30 à 50 mètres suivant les sections, et les pentes maxima sont de 2,88 p. 100 entre Népoui et la mer, 3 p. 100 entre Népoui et Ouaté, et 4 p. 100 dans la vallée de la Péoué. La capacité de trafic de cette ligne peut atteindre jusqu'à 250 tonnes par journée de 10 heures.

Le chemin de fer de Kouaoua, long de 8 kilomètres et demi, reliant le pied du transporteur au fond de la baie de Kouaoua, est établi avec une voie de 50 centimètres et des rails de 12 kilogrammes ; chaque wagon porte 1.250 kilogrammes de minerai, et les trains comportent 20 wagons ; les pentes ne dépassent pas 5 millimètres par mètre. Il assure facilement le transport de tout le minerai descendu par le transporteur.

Le chemin de fer de Thio (Voir la *fig.* 1 de la Pl. XII), qui relie, d'une part le pied de la mine des Bornets, et d'autre part le pied du Plateau au port d'embarquement de la Mission, et dont la longueur totale est de 13 kilomètres, est établi dans des conditions bien meilleures ; il est à voie de 0m,77 avec rails de 12 kilogrammes et déclivités très faibles ; il est parcouru par des locomotives de 12 tonnes et des wagons de 5 tonnes, remorqués en trains de huit à dix wagons.

Ajoutons qu'il existe en outre un petit chemin de fer de 3 kilomètres de développement à l'altitude de 490 mètres sur le Plateau de Thio (Voir la *fig.* 2 de la Pl. XII), pour grouper les minerais pris au pied des différentes carrières et pour les amener au sommet du système de plans inclinés qui le descendent jusqu'à Thio ; exploité ju

qu'ici avec la traction animale, il vient d'être muni de petites locomotives de 3 tonnes et demie.

Le prix de revient de ces transports, tant entre les carrières et le pied des mines, qu'entre le pied des mines et le bord de la mer, est difficile à préciser par des chiffres le quelque signification; les dépenses de main-d'œuvre varient du tout au tout avec la perfection des installaions; d'autre part, la charge qu'elles constituent par tonne e minerai tient essentiellement à l'activité de l'exploitaion. Souvent ces transports sont faits d'une façon irréulière, à certaines heures de la journée, ou à certains ours de la semaine, par des ouvriers employés normalement à d'autres travaux, et il n'est pas tenu compte de la main-d'œuvre consacrée aux transports. Quant aux autres épenses, il est déjà bien difficile, pour d'autres exploiations que celles des sociétés importantes, de tenir compte es frais d'entretien, qui se confondent, pour toutes les modiations à court terme, avec les frais de premier tablissement; ensuite l'amortissement de ces frais ne ourrait être calculé qu'en connaissant le tonnage que les nstallations serviront à transporter, or nulle part on ne 'a évalué même approximativement, si bien que nous avons vu de puissantes et coûteuses installations faites pour un groupe de gisements, peut-être riche, mais reconnu d'une façon si insuffisante qu'il n'était pas possible de dire, même avec une approximation du simple au double, ce qu'il pouvait renfermer comme minerai exploitable.

Nous croyons cependant pouvoir évaluer entre $0^{fr},50$ et 1 franc par tonne de minerai humide ($0^{fr},70$ à $1^{fr},40$ par tonne sèche) les frais de main-d'œuvre pour la descente, suivant que cette descente comporte des parcours plus ou moins complexes, tandis que l'amortissement et entretien des installations se monterait à peu près au même chiffre. Pour ce qui est des transports horizontaux,

nous rappelons que les frais, de $0^{fr},75$ à 1 franc par tonne kilométrique, que comporte, à l'exclusion de toutes dépenses de premier établissement, le transport par voitures, sont considérés aujourd'hui comme trop élevés, en même temps que l'on regarde comme insupportable la gêne résultant d'un charroi assuré d'une façon aussi irrégulière ; on y substitue, grâce au transport par voie ferrée, des frais courants d'exploitation généralement très restreints (ne dépassant pas, croyons-nous, 10 centimes par tonne kilométrique), augmentés de l'amortissement de la voie ferrée ; cette voie coûte au minimum 15.000 à 20.000 francs par kilomètre, et son installation est, avons-nous dit, généralement faite sans avoir reconnu des tonnages importants de minerai exploitable et souvent après la simple signature d'un contrat d'amodiation de 2 ou 3 ans comportant seulement la fourniture de quelques dizaines de milliers de tonnes. Tel est le cas de plusieurs des gisements de la côte Ouest, situés à 5 ou 6 kilomètres de la mer. Les installations, plus coûteuses, de longues voies ferrées descendant des vallées importantes, dont le tracé comporte quelques travaux d'art, et qui exigent l'achat de locomotives et de matériel roulant, ne sont faites, au contraire, que lorsqu'on est assuré de pouvoir en répartir les frais sur un grand nombre de milliers de tonnes. Quoi qu'il en soit, les frais de transport par voie ferrée ne peuvent être que rarement considérés comme inférieurs, tout compris, à 3 ou 4 francs par tonne humide (soit 4 à 6 francs par tonne sèche).

Une fois rendu au bord de la mer, en un point où la côte offre un abri suffisant pour qu'il puisse être procédé au chargement des navires, le minerai est entassé, après extraction hors des sacs s'il y a lieu, pour attendre l'embarquement ; cette manutention ne coûte pas moins de $0^{fr},50$ par tonne humide ($0^{fr},65$ à $0^{fr},70$ par tonne

sèche). Il est ultérieurement repris à l'aide de wagonnets, embarqué dans des chalands par l'intermédiaire d'estacades, et conduit au bord du bateau sur lequel il doit être chargé; c'est là une nouvelle cause de dépense qui n'est pas négligeable. Les grandes sociétés possèdent des chalands dont la confection et l'entretien sont assez coûteux; la main-d'œuvre nécessaire pour la reprise du minerai en tas, son embarquement dans les chalands, et la remorque de ceux-ci jusqu'au bord, est également onéreuse, bien que ces travaux soient généralement confiés à des Canaques des îles Loyalty particulièrement habiles à cela. L'ensemble de ces opérations coûte de 3 à 4 francs par tonne humide (4 à 6 francs par tonne sèche). Les petits exploitants font souvent effectuer le chalandage de leur minerai, au moment du chargement d'un navire, par un entrepreneur spécial, auquel ils payent alors 3 francs par tonne humide, non compris la main-d'œuvre qu'ils fournissent.

Les frais de transport et de chargement peuvent donc varier entre les limites suivantes (*chiffres rapportés à la tonne de minerai sec*) :

		Fr.	Fr.
Descente au pied de la mine.	Main-d'œuvre	0,70 à	1,40
	Amortissement des installations	0,70 à	1,40
Transport par voie ferrée.	Frais courants	0,60 à	1,50
	Amortissement des installations	3,40 à	4,50
Entassement		0,65 à	0,70
Chalandage		4,00 à	6,00
	Total approximatif	10,00 à	15,00

C. — Frais généraux, dépenses d'installations.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons considéré que les frais de main-d'œuvre en ce qui concerne l'exploitation même; nous avons, au contraire, été nécessairement

amené à faire mention des frais de premier établissement, en parlant des voies de transport et des prix de revient des transports. Pour compléter les indications que nous nous proposons de donner sur les prix de revient des exploitations de nickel de la colonie, nous devons encore dire quelques mots des frais généraux divers, dans lesquels nous comprendrons les différentes fournitures nécessaires à l'exploitation, et nous devons en outre revenir sur les dépenses de premier établissement.

Les fournitures consommées d'une façon courante pour l'exploitation sont peu nombreuses : dans quelques cas on a recours aux explosifs, on emploie partout des outils divers, barres à mine s'il y a lieu, pics, pioches, pinces, pelles; on use en outre une quantité importante de sacs, comme nous l'avons déjà mentionné; enfin, dans des exploitations importantes, l'entretien des différents engins de transport sur carrières donne lieu à une consommation plus ou moins régulière de fournitures diverses; il y a donc à ajouter au prix de revient du minerai sur carrières, que nous avons indiqué ci-dessus, un article fournitures qui peut se monter à 3 ou 4 francs par tonne (4 à 6 francs par tonne sèche). Pour les petites exploitations, cet article disparaît presque complètement : les explosifs y sont d'un emploi exceptionnel; les outils ont généralement fait l'objet d'un approvisionnement fait une fois pour toutes au début de l'exploitation, que l'on porte aux dépenses de premier établissement et dont il n'est pas tenu compte ensuite, de même pour les engins de transport.

Les frais généraux comprennent, en outre, des frais plus ou moins importants de direction technique, d'études, de comptabilité, etc., que de petits exploitants, travaillant à leur compte (*petits mineurs*), ne font généralement pas entrer en ligne de compte, puisqu'ils assurent personnellement ces différentes tâches. Les dépenses pour

rises d'essai systématiques des différents lots, et pour nalyse tant de ces prises d'essai que des échantillons réquemment prélevés au chantier pour guider le travail les ouvriers, doivent intervenir également dans les frais généraux, et elles ne représentent pas moins de 0^{fr},20 à 0^{fr},25 par tonne pour une exploitation importante où les prises d'essai sont soigneusement faites, et où l'on procède à des centaines de dosages (*) par semaine, pour surveiller et guider le travail d'exploitation. Enfin les impôts de outes sortes, redevance sur les périmètres miniers, droit ur les minerais exportés, etc., sans compter les droits de avigation, de phare et de balisage, qui pèsent indirecement sur les prix de revient, constituent, au titre frais énéraux, une charge assez lourde, pouvant atteindre, urtout pour une entreprise importante, plusieurs francs ar tonne.

Si nous passons maintenant aux frais de premier ablissement, nous n'avons pas grand'chose à dire de ux qui peuvent être faits sur les carrières mêmes; nous ons préféré les faire rentrer dans les frais d'exploitaon sous la rubrique : Travaux préparatoires. La création es engins auxiliaires de transport et de descente pour la ncentration du minerai, l'achat des voies Decauville lantes et du matériel de wagonnets nécessaires au rouge sur carrières des minerais et déblais, rentrent au ntraire dans ces frais. Les engins de descente et de ansport horizontal y rentrent également et en constituent plus gros chiffre; nous ne reviendrons pas sur ce que ous venons d'en dire. Mais nous devons mentionner ici l'autres installations qu'il est indispensable de créer au lébut de l'exploitation : ce sont d'abord des chemins

(*) Ces dosages se font d'une façon expéditive, grâce à une méthode par liqueurs titrées qui a été indiquée par M. Moore, chimiste du service local de la colonie, et dont on confie avec succès l'application à des Japonais.

l'accès depuis le bord de la mer ou depuis la localité v
sine jusqu'au pied de la mine, puis du pied de la mi
jusqu'aux travaux; les premiers, tracés en terrain plat
à peu près, ne comportent pas de travaux importants,
doivent généralement être carrossables; les seconds,
contraire, seraient plus difficiles à pratiquer si l'on ne
contentait de chemins muletiers gravissant en lace
n'importe quels escarpements, grâce à des pentes atte
gnant jusqu'à 10 p. 100; de tels chemins ne revienne
pas à plus de 30 à 50 centimes par mètre, ce qui représent
pour une dénivellation de 400 ou 500 mètres et un dév
loppement de quelques kilomètres, 2.000 à 3.000 francs.
faut ensuite avoir des installations, toujours fort sommair
d'ailleurs, pour abriter les ouvriers à recruter; ce n'est
qu'une modeste dépense, étant donné les conditions da
lesquelles les ouvriers sont logés; nous reviendrons sur
point dans la suite.

Enfin l'exploitant doit se construire sa propre habit
tion, à laquelle il annexe un magasin destiné à renferm
à la fois les fournitures courantes nécessaires à l'expl
tation et les vivres et fournitures diverses consommés
les ouvriers.

L'ensemble de ces frais divers de premier établisse
n'est pas inférieur à 10.000 et souvent 20.000 f
pour une petite exploitation; il s'élève naturell
incomparablement plus pour une affaire plus impo
lorsqu'il s'agit de créer de toutes pièces, comme
la société le Nickel à Thio, par exemple, les lo
d'un personnel important, des bureaux, un lab
des magasins considérables, un atelier, etc...

D. — Prix de revient globaux.

Pour résumer en un tableau les indications,
ment vagues, que nous avons données ci-d

dirons que le prix de revient d'une quantité de minerai de nickel équivalente à une tonne de minerai sec, rendue sous palans, comprend les éléments suivants, dont on peut estimer que l'importance varie entre les chiffres ci-dessous :

		Fr.		Fr.
Frais courants sur carrières.	Abatage et triage	8,00	à	30,00
	Transports sur carrières, évacuation du stérile	3,00	à	4,50
	Travaux préparatoires et terrassements divers	4,00	à	20,00
Ensachage (s'il y a lieu), main-d'œuvre et matières		2,50	à	3,00
Transports, main-d'œuvre et frais courants		1,30	à	2,90
Entassement, main-d'œuvre		0,65	à	0,70
Chalandage (y compris l'amortissement des installations s'il y a lieu)		4,00	à	6,C0
Frais généraux, fournitures et entretien		0,00	à	6,00
Frais généraux : direction, surveillance, prises d'essai, analyses, impôts		0,00	à	5,00
Amortissement des installations.	Matériel et outils	1,00	à	2,00
	Engins de transport	3,40	à	4,50
	Installations diverses (chemins, constructions, etc.), essentiellement variable			

Nous ne pouvons que répéter ici que ces chiffres ne doivent être considérés que comme donnant des indications sur la façon dont se répartissent les dépenses d'une exploitation de nickel en Nouvelle-Calédonie : si l'on considère les chiffres minimum que nous donnons et qui, nous le répétons, se rapportent à l'exploitation, sans souci du lendemain, de quelque riche traînée découverte çà ou là, on peut dire que les frais courants par tonne sèche rendue à bord peuvent ne pas dépasser 25 francs; il faut, en outre, y ajouter, comme nous l'avons dit, des frais généraux fort minimes et ensuite une charge d'amortissement qu'on ne peut évaluer, avant la fin de l'exploitation, que d'une façon tout à fait incertaine ; on ne connaît en effet nullement la quantité de minerai qui sera exploitée, tant

parce que l'exploitant lui-même n'a pas reconnu le gîte, que parce qu'il a commencé son exploitation après avoir signé un contrat de vente de 30.000, 40.000 ou 50.000 tonnes à livrer au cours des deux ou trois années à venir, et qu'il ne peut nullement compter qu'au bout de ce temps une restriction de la demande de minerai ne viendra pas l'obliger à abandonner une mine encore productive, et à perdre tout le bénéfice qu'il pourrait encore retirer des installations qu'il a faites. Aussi, généralement, celui qui entreprend pareille exploitation cherche-t-il simplement à voir s'il peut espérer rémunérer tous ses frais sur l'exécution d'un premier contrat de vente de minerai; il prend alors à crédit (*) les fournitures dont il a besoin et emprunte un fonds de roulement, puis ses efforts tendent à réussir, grâce aux livraisons de minerai qu'il fera, à rembourser ses emprunts, tout en conservant quelque bénéfice.

Nous avons dit que l'amortissement des installations de transport ne peut que rarement représenter moins de 3fr,40 à 4fr,50 par tonne; celui de l'ensemble des autres installations et des approvisionnements divers ne peut guère être inférieur. On arrive donc à un prix de revient minimum de 30 ou plutôt de 35 francs par tonne sèche.

Cela représente, en supposant du minerai à la teneur normale de 7 p. 100, un prix de revient de 0fr,45 à 0fr,50 au minimum par kilogramme de métal contenu dans le minerai. Comme les marchés qui couraient au moment de notre séjour avaient été le plus souvent conclus entre 0fr,60 et 0fr,70 par kilogramme de métal, on voit qu pour une exploitation où auraient été réunies toutes l conditions les plus favorables, facilités d'exploitation, voi-

(*) Des achats faits dans ces conditions, par des exploitants n'offrent souvent d'autres garanties que les chances de succès de l exploitation, sont naturellement faits à des prix sérieusement major ce qui contribue à augmenter les frais de premier établissement.

de transport aisées à installer, et tonnage important de minerai à extraire sur lequel répartir les frais de premier établissement, il y avait une sérieuse marge pour la rémunération personnelle de l'exploitant et pour la réalisation l'un bénéfice important. Il faut d'ailleurs ajouter à ce lernier celui qui résulte déjà de la vente aux ouvriers des vivres et marchandises diverses, et qui n'est souvent pas e moindre, puisque plusieurs exploitants nous ont déclaré que c'est en somme le seul qu'ils réalisent.

Mais bien souvent l'exploitation elle-même n'est pas ussi aisée; il y a des périodes tout au moins, où les travaux au stérile sont nombreux et coûteux (il est rare qu'il n'y ait pas à compter au début de l'exploitation sur une telle période dont il faudra naturellement tenir compte ensuite); es transports peuvent être plus difficiles à organiser, il arrive que, faute d'avoir consacré au début une somme uffisante à la création d'engins bien disposés pour réduire a main-d'œuvre aux chiffres assez bas que nous avons upposés, celle-ci est plus onéreuse; il se peut, au contraire, que les installations aient dû être plus importantes ue nous ne l'avons admis, ou ne se répartissent finalement que sur un tonnage trop restreint; dans de telles onditions, les bénéfices de l'exploitation peuvent être eaucoup moins importants. Parfois, nous l'avons déjà entionné, il serait pratiquement trop onéreux, sinon ut-être au point de vue absolu, du moins en raison des ssources ou du crédit dont dispose l'exploitant, de créer s moyens de transport vraiment économiques; d'autre rt, l'abatage du minerai peut être plus ou moins malaisé; s lors le prix de revient par tonne de minerai s'élève considérablement; mais, si le gîte permet de n'exploiter ue des minerais riches, à 8 p. 100 par exemple et même lus, la valeur de la tonne s'élève aussi très notablement, uisque non seulement la teneur en métal augmente, nais encore en même temps le prix de base par unité de

métal, et l'exploitation reste possible sur une petite échelle.

Telles sont les conditions dans lesquelles ont été créées toutes, ou à peu près toutes, les petites exploitations de la colonie, qui ont produit, en 1901, 45.000 tonnes, soit 1/3 de la production totale, et celles dans lesquelles était également conduite, il y a quelques années, l'exploitation de Népoui. Des sociétés importantes disposant d'un capital considérable, possédant, ou croyant posséder (car, rappelons-le, il y a bien peu de gites réellement explorés aujourd'hui), des réserves importantes de minerai dans une même région, procèdent naturellement d'une tout autre façon : assurées d'une certaine permanence dans leurs affaires, elles ont beaucoup plus d'intérêt à chercher à épuiser systématiquement les gites qu'elles ont aménagés et pourvus de moyens de transport convenables ; dès lors leurs exploitations comportent tout naturellement des frais spéciaux sur carrières incomparablement plus élevés que ceux des mines dont nous venons de parler ; la charge des frais de premier établissement et d'amortissement devient au contraire plus faible, tandis qu'il faut compter une part de frais généraux très notable, et que les dépenses de fournitures, qui se renouvellent d'une façon périodique, constituent également un article du prix de revient. On arrive ainsi à des prix de revient qui peuvent s'élever jusqu'à 60 et même 70 francs par tonne de minerai sec à 7 p. 100, portant le prix du kilogramme de métal à $0^{fr},85$ et exceptionnellement 1 franc. Ce sont là des chiffres qui peuvent paraître paradoxaux, pour cette raison qu'après tout ce que nous avons dit de l'intérêt considérable qu'il y a à munir les exploitations d'installations perfectionnées et coûteuses au besoin, dont les frais de premier établissement soient destinés à se répartir sur un tonnage important, nous en arrivons à constater que le prix de revient dans ces conditions est souvent beau

oup plus élevé que dans les petites exploitations, où il st strictement limité (*) par le prix auquel le minerai eut être vendu, soit de 60 à 70 centimes par kilogramme e métal. L'explication de ce paradoxe tient à deux cironstances : d'une part, les sociétés importantes exploitent ujourd'hui, souvent après avoir, au début, épuisé les giseients voisins de la mer, des mines situées à 12 kilomètres Thio) et même à 25 kilomètres (Népoui) de la mer, mines ui seraient pratiquement inaccessibles pour les petits iineurs ; d'autre part, elles en tirent parfois un tout utre parti que celui que de petits mineurs en auraient iré, et il n'est pas exagéré, à notre avis, de dire que là ù un petit mineur aurait peut-être extrait 50.000 ou 0.000 tonnes de minerai à 8 ou 9 p. 100, représentant seument quelques milliers de tonnes de métal, une telle soiété pourra extraire quelques centaines de mille tonnes de inerai avec des teneurs de 6 1/2 ou 7 p. 100, utilisant nsi trois ou quatre fois plus du métal contenu dans le sement. Enfin il ne faut pas oublier que tous les prix de vient que nous avons indiqués sont, en ce qui concerne main-d'œuvre, majorés du bénéfice retiré de la vente des archandises aux ouvriers ; ce bénéfice s'ajoute à celui des tits mineurs, mais il ne diminue en rien les prix auxels ils livrent leur minerai ; ce même bénéfice, plus odeste il est vrai, se retranche au contraire des prix revient des sociétés importantes dont nous venons de onner une évaluation, et, comme il atteint encore aux enrons de 20 p. 100 sur les marchandises vendues, c'estdire sur la majorité des salaires, il doit diminuer le prix revient par kilogramme de métal que nous donnons -dessus, d'une somme qui n'est pas moindre que $0^{fr},10$.

Ajoutons que si, dans ces conditions, il semble qu'une

(*) Pour avoir la limite réelle à laquelle le petit mineur peut exploir sans perte, il faudrait réduire son prix de revient, calculé comme ous l'avons fait, de la part correspondant au bénéfice qu'il réalise sur s fournitures qu'il fait à ses ouvriers.

société importante puisse souvent avoir avantage, au lieu de forcer sa production pour faire face à une demande particulièrement active de minerai, à passer des marchés avec de petits mineurs, comme cela est d'une pratique constante lorsque la demande de nickel est active, cela n'est réellement avantageux, à son propre point de vue, que lorsque le gisement exploité par le petit mineur n'appartient pas à la société. Lorsque au contraire la mine lui appartient, c'est généralement le gaspillage presque définitif auquel elle consent pour un gisement qui, s'il a tenté quelque petit mineur, n'est généralement pas parmi les moins riches ou les moins avantageusement situés.

Et c'est en insistant sur cette considération que nous terminerons ce qui a trait aux conditions économiques actuelles de l'exploitation du nickel en Nouvelle-Calédonie. Les prix de revient du kilogramme de métal, avec l'obligation d'une teneur minimum de 7 p. 100 pour le minerai sec, peuvent être considérés comme variant aujourd'hui, tout compris, de 0fr,50 à 1 franc au grand maximum; mais le prix minimum, que nous croyons pouvoir fixer aux environs de 0fr,50, n'est pratiquement réalisé, dans la plupart des mines où on l'obtient, pour ne pas dire dans toutes, que par un véritable gaspillage des gîtes; ce n'est d'ailleurs pas du tout à dire que de tels prix ne pourraient pas être obtenus tout en assurant une beaucoup meilleure utilisation. Sans doute cette utilisation ne saurait être parfaite; elle ne saurait même être aussi complète que lorsque l'on consent à des prix de revient plus élevés; mais elle pourrait aisément, croyons-nous, être souvent deux fois meilleure, pour peu que l'exploitation fût entreprise avec plus de souci de l'avenir, par des personnes disposant des capitaux nécessaires (qui ne seraient d'ailleurs pas énormes), moins hantées par l'idée de faire fortune en quelques années, et, disons-le aussi, moins complètement ignorantes de ce que peuvent être un gisement minéral et les conditions dans lesquelles il devrait être exploité.

CHAPITRE IV.

UTILISATION DES MINÉRAIS DE NICKEL DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE. DÉBOUCHÉS QUI LEUR SONT OFFERTS.

A. — TRAITEMENT ACTUEL DES MINERAIS.

Les minerais de nickel actuellement exploités en Nouvelle-Calédonie sont généralement expédiés en Europe, soit au Havre, soit à Glasgow, soit à Rotterdam; au voisinage immédiat des deux premiers de ces ports existent deux usines de traitement appartenant à la société le Nickel, l'usine du Havre et l'usine de Kirkintilloch, ayant produit chacune, dans ces dernières années, de 1.500 à 1.800 tonnes de nickel par an; de Rotterdam, les minerais sont dirigés sur l'Allemagne, où ils sont traités (production 1.000 à 1.200 tonnes par an). Il a en outre été récemment fait quelques expéditions de minerai sur l'Amérique (30.000 tonnes environ en 1901).

Les frais de transport jusqu'en Europe sont naturellement variables avec les conditions générales du fret dans le monde entier; ils oscillent généralement aux environs de 30 à 40 francs par tonne, prix auquel il faut ajouter une assurance de 3 p. 100 *ad valorem*. Ce prix est celui qui est fait par des voiliers français portant de 3.000 à 4.000 tonnes de minerai, qui viennent d'Europe en Nouvelle-Calédonie par le cap de Bonne-Espérance et retournent en Europe par le cap Horn, effectuant un voyage d'une durée totale de 7 mois, le plus souvent sur lest à l'aller. Un voyage leur rapporte, outre le fret qui s'élève entre 100.000 et 150.000 francs, la prime à la navigation accordée par le gouvernement français, prime qui

atteint 125.000 francs en moyenne par voyage et qui couvre déjà presque les frais du voyage. D'après les renseignements que nous avons pu recueillir, ces bâtiments ne pourraient guère accepter de fret à moins de 50 francs par tonne, si cette prime ne leur était pas allouée; des bâtiments anglais, qui n'en profitent pas, accepteraient parfois des frets d'une quarantaine de francs.

Quoi qu'il en soit, on voit qu'actuellement le fret seul, qui représente ainsi environ 48 à 55 francs par tonne de minerai sec, soit 70 à 75 centimes par kilogramme de métal, suffit à doubler, à l'arrivée en Europe, la valeur du minerai de nickel pris sur place.

Le traitement que le minerai subit comporte actuellement une fusion pour matte au cubilot à water-jacket; fondu avec 20 p. 100 de calcaire, 10 p. 100 de gypse (ou une quantité de charrée de soude équivalente au point de vue de la richesse en soufre) et 37 1/2 p. 100 de coke, le minerai produit une matte tenant environ 45 p. 100 de nickel, 40 p. 100 de fer et 15 p. 100 de soufre, tandis que les matières réfractaires, silice, chaux, et magnésie, passent dans la scorie et n'entraînent qu'une faible quantité de nickel. La matte obtenue est ensuite déferrée au convertisseur, ce qui donne lieu à la production d'un sulfure de nickel à 75 p. 100 de nickel, moins de 1 p. 100 de fer, et 24 p. 100 de soufre; celui-ci est finement broyé, puis il subit un double grillage très minutieux, destiné à éliminer aussi complètement que possible le soufre; enfin l'oxyde produit est réduit en présence de charbon et de farine, ce qui donne du métal à peu près pur et aggloméré par une demi-fusion. Nous n'avons pas d'évaluation exacte des frais que comporte ce traitement; nous croyons néanmoins qu'ils ne dépassent pas 1 franc par kilogramme de métal produit; une moitié de ces frais se rapporte à la première fusion.

Dans ces conditions, le nickel se vend en Europe, suivant

les circonstances, suivant l'importance des achats, etc., entre 3fr,50 et 4 francs le kilogramme. Ajoutons que le nickel qui est extrait des minerais calédoniens par le traitement que nous venons d'indiquer est très pur : il contient 99 à 99,5 p. 100 de nickel; il est suffisamment bien débarrassé du soufre qui y a été incorporé par la première fusion, puisqu'il n'en tient que moins de 1 millième; il est exempt d'arsenic et de phosphore, et ne contient que des traces (moins de 1 millième) de cuivre, qui seraient, paraît-il, introduites par le traitement, mais qui n'existent pas dans les minerais de notre colonie.

B. — Les débouchés du nickel.

Le prix du nickel métallique a baissé depuis 25 ans dans des proportions extrêmement considérables, puisque au moment de la découverte des minerais de la Nouvelle-Calédonie il était encore de 18 francs le kilogramme, et qu'après s'être abaissé d'abord brusquement à 10 francs, puis successivement à 8,6 et 5 francs (1892), à 4 francs 1894), à 3 francs (1895), et puis même à 2fr,40 (fin 1895) par l'effet de la concurrence du Canada, il oscille maintenant entre 3fr,50 et 4 francs le kilogramme. Néanmoins le nickel est resté un métal demi-précieux, coûtant à peu près deux fois plus que le cuivre; il ne saurait donc être substitué à ce métal, de même que les alliages à base de nickel ne sauraient être substitués au laiton, que pour des usages de luxe ou à peu près; on connaît les emplois du nickel métallique pour un certain nombre d'objets usuels qu'il est intéressant de préserver du vert-de-gris, ou comme revêtement, soit à l'état de plaqué, soit à l'état de dépôts galvaniques, sur d'autres métaux; on connaît également les usages des alliages à base de nickel : argentan, maillechort, métal anglais, métal blanc, etc. ; enfin le nickel, soit pur, soit à l'état d'al-

liage, a été employé, et sera vraisemblablement employé encore, par différents pays pour la fabrication de la monnaie de billon.

Bien que l'ensemble de ces usages, qui ne demandent chacun individuellement que des quantités relativement restreintes de nickel, finisse par représenter des centaines et même quelques milliers de tonnes par an, et que l'on puisse espérer voir peu à peu adopter ce beau métal, précieux par son inaltérabilité, pour d'autres usages du même genre, il n'y aura là vraisemblablement qu'un accroissement assez lent d'année en année, tant que le prix du nickel restera notablement supérieur à celui du cuivre.

Un autre débouché qui a été ouvert au nickel depuis que son prix s'est abaissé est la fabrication des aciers au nickel, et celui-là, qui en a déjà aujourd'hui doublé les usages dans le monde entier, paraît promettre, pour un avenir sans doute prochain, un large développement de la consommation du nickel. La ténacité et l'augmentation de la limite d'élasticité et de la charge de rupture qu'un petit nombre d'unités de nickel communiquent à l'acier, ont fait introduire ce métal dans la composition de certains aciers spéciaux depuis une douzaine d'années environ : employé d'abord avec succès pour les plaques de blindage en proportion de 3 à 5 p. 100 (essais d'Annapolis, 1891), il a été introduit ensuite dans le métal à canons (en proportion voisine de 2 p. 100), dans des tôles destinées à des constructions métalliques où l'on recherche tout particulièrement la légèreté (proportion de 3 p. 100), dans certains arbres dont on désire augmenter la limite élastique (proportion de 1 p. 100), et l'on cherche aujourd'hui à employer les aciers au nickel pour faire des tubes, des rivets, etc. Mais, si « les aciers au nickel plus ou moins manganésés, carburés ou chromés, sont semblables aux aciers ordinaires au carbone, tant que les pro-

portions de nickel, manganèse, chrome et carbone ne dépassent pas une certaine limite (*) », et si, dans ces conditions, ces divers éléments jouent simplement le rôle d'éléments durcissants, « au delà d'une certaine limite, les additions de ces éléments produisent une transformation allotropique du fer contenu dans les aciers, qui fait apparaître des propriétés physiques et mécaniques très différentes de celles des aciers ordinaires (*)... » Avec une composition répondant à cette dernière condition grâce à une forte teneur en nickel, « les aciers s'adoucissent considérablement par la trempe et ne durcissent que par l'écrouissage; les propriétés mécaniques de certains d'entre eux sont très remarquables, particulièrement au point de vue de l'allongement à la rupture, qui est exceptionnel, et de la résistance au choc, qui dépasse celle de tous les alliages ou métaux connus (*) ». C'est parmi ces aciers-là, où la proportion de nickel se compte par dixièmes, que l'on a découvert des métaux présentant des propriétés physiques extrêmement remarquables, notamment au point de vue de la dilatabilité, ce qui est de nature à leur ouvrir des débouchés, mais sans doute restreints comme tonnage, pour la construction d'appareils de physique, de géodésie, etc.; cependant certaines de leurs propriétés mécaniques sont si précieuses que, malgré leur prix élevé, ils ont déjà été employés dans la construction en fer, notamment en assez grande quantité par l'artillerie française au cours de la construction de son nouveau matériel (tôles à 25 p. 100 de nickel).

Aujourd'hui donc les usages des aciers au nickel sont courants avec des teneurs de 1 à 5 p. 100 sous forme de tôles, arbres, canons, obus, et surtout de blindages. Ce ne sont encore là que des usages spéciaux correspondant

(*) *Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs*, par M. L. Dumas (*Annales des Mines*, 10e série, t. I, p. 551 et 552; 1902).

à des tonnages limités, et cela tient non seulement à ce que l'introduction de quelques unités pour cent de nickel dans l'acier augmente très notablement son prix (souvent du simple au double) à la fois en raison de la valeur même du métal introduit et en raison de la minutie plus grande de la préparation métallurgique de ces aciers spéciaux, mais cela tient encore à ce fait que l'amélioration de certaines de leurs propriétés mécaniques ne va pas souvent sans des inconvénients, tels que la difficulté avec laquelle ils se laissent travailler, ne supportant pas l'écrouissage, criquant aisément, etc. Il est fort intéressant cependant de signaler un pas, paraissant très notable, qui vient d'être fait aux États-Unis : après des essais multiples pour l'emploi de rails en acier au nickel sur des sections de voies ferrées très fréquentées, en vue d'espacer notablement les réfections de voies, la Pensylvanian Railroad C° vient de commander 9.000 tonnes de rails en acier à 3 1/2 p. 100 de nickel pesant 85 et 100 livres par yard (soit 43 et 50 kilogrammes par mètre), pour en munir les sections de voie les plus chargées de ses lignes autour de Pittsburg : cette commande aurait été faite au prix de 55 dollars la tonne (261 francs par tonne métrique) (*). La multiplication de semblables usages ne manquerait pas d'accroître considérablement la consommation du nickel, et cela pourrait bien ne pas tarder à se produire en effet.

Pour ce qui est de l'adoption des aciers au nickel à haute teneur, on peut dès aujourd'hui y compter pour la construction d'appareils de précision ; mais cela est peu de chose, et ce qui serait vraiment précieux pour notre colonie, ce serait de voir se développer des emplois tels que celui qui a été fait par l'artillerie française d'acier à 25 p. 100 de nickel ; il ne faudrait en effet pas beaucoup

---

(*) *Engineering and mining Journal*, 7 février 1903, p. 212.

d'usages exigeant chacun annuellement quelques centaines de tonnes de tels aciers pour augmenter dans une large proportion la consommation du nickel; il ne nous paraît pas douteux que ces usages se multiplieront d'autant plus rapidement que le prix du nickel, qui intervient pour une large part dans le prix élevé de ces produits spéciaux, diminuera plus vite et plus notablement.

Les usages métallurgiques sont donc de ceux qui, exigeant aujourd'hui à peu près la moitié du nickel consommé dans le monde, pourraient à bref délai, et surtout à la faveur d'un abaissement notable du prix du nickel, augmenter dans une très large proportion. Ils suivent naturellement aujourd'hui les fluctuations de l'industrie métallurgique, et en particulier de l'industrie spéciale des armements; ils ont eu leur période d'accroissement de 1898 à 1901, en même temps que cette industrie, et subissent aujourd'hui avec elle une crise qui n'est assurément que passagère.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble des usages du nickel a déjà marqué une progression considérable depuis 25 ans, et nous sommes bien persuadé que cette progression ne fera que continuer encore d'année en année. Les quelques chiffres suivants montreront ce qu'elle a été jusqu'ici.

D'après M. Levat (*), la production annuelle du nickel est restée sensiblement stationnaire jusqu'en 1878, et elle serait montée ensuite à peu près aux chiffres suivants :

1878.........	400 tonnes
1880.........	1.200 —
1884.........	2.000 —
1887.........	3.000 —

La Nouvelle-Calédonie intervenait d'ailleurs pour la plus large part dans cette production. Depuis 1889, la décou-

(*) D. Levat, *Progrès de la métallurgie du nickel* (*Annales des Mines*, 9e série, t. I, p. 223, 1892).

…verte des riches mines de pyrrothine cupro-nickelifère de Sudbury (Canada) a fait entrer en ligne, pour la production du nickel, un redoutable concurrent de notre colonie; ce sont les quantités considérables de métal que le Canada a jetées sur le marché à des prix sans cesse décroissants qui ont amené la crise subie par les exploitations de nickel de notre colonie, en 1892-1897.

D'après les statistiques que nous avons entre les mains (*), la production du nickel métal se serait, depuis lors, répartie comme suit, au point de vue des pays d'origine des minerais :

Années	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Nouvelle-Calédonie	1.381	1.633	2.449	2.800	2.800	2.422	2.548	2.972	2.858	3.608	3.845	4.676	6.2[illegible]
Canada	310	651	2.099	1.889	1.841	2.226	1.764	1.541	1.813	2.503	2.605	3.212	4.0[illegible]
Etats-Unis d'Amérique	99	91	55	44	12	4	5	8	15	5	9	4	
Divers	88	80	103	89	90	103	17	16	»	»	47	»	
TOTAUX	1.878	2.455	4.706	4.822	4.713	4.755	4.334	4.537	4.686	6.116	6.506	7.892	

Nous ajouterons que la consommation du nickel dans le monde entier n'a pas exactement suivi les fluctuations qu'indiqueraient les chiffres ci-dessus, extraits des statistiques officielles des différents pays; on aurait en effet, d'après les renseignements que nous avons pu recueillir, consommé les quantités suivantes de nickel au cours des cinq dernières années.

Années	Consommation de nickel métal
1898	6.600 tonnes
1899	6.700 —
1900	7.200 —
1901	7.400 —
1902	6.800 —

(*) R.-P. ROTHWELL, *The mineral Industry*, années 1892 et suiv.

En regard de ces chiffres de production et de consommation du nickel, nous fournirons, d'après les statistiques officielles, ceux de l'exportation des minerais de Nouvelle-Calédonie avec l'indication approximative des quantités de métal qu'ils contenaient, en faisant remarquer que, même à supposer les statistiques de la colonie exactes, non seulement il y a une certaine perte au traitement et parfois des pertes en route par suite de sinistres de mer, mais qu'en outre la nécessité de conserver ou de former en Europe des stocks d'une certaine importance a pu donner lieu, au cours de diverses années, à des exportations de minerai notablement différentes de celles correspondant à la production, et surtout à la consommation réelle, du nickel d'origine calédonienne. Quoi qu'il en soit, voici les chiffres que fournit la statistique officielle.

ANNÉES	EXPORTATION des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie (*)		VALEURS ESTIMÉES sur place des quantités exportées (*)		QUANTITÉS approximatives de nickel métal contenues (*)	
	tonnes		francs		tonnes	
1875	327		327.000		39	
1876	3.406		1.703.000		408	
1877	4.377		1.720.000		525	
1878	155		46.000		18	
1879	»		»		»	
1880	2.528	(5.058)	506.000		253	(506)
1881	4.069		814.000		407	
1882	9.025	(6.392)	1.624.000		812	(537)
1883	6.881	(6.768)	1.240.000		620	(615)
1884	10.888	(7.994)	1.578.760		871	(637)
1885	5.228	(1.095)	731.920		418	(99)
1886	921		184.200		92	
1887	8.602		1.075.000		688	
1888	6.616		827.000		530	
1889	21.000	(1.250)	2.625.000		1.680	(114)
1890	24.590	(1.900)	2.827.000		1.960	(174)
1891	54.081	(160)	5.678.000		4.326	(15)
1892	35.951		3.235.000		2.507	
1893	45.613		3.877.000		3.180	
1894	40.089		2.806.230		2.795	
1895	38.976		1.948.800		2.484	
1896	37.467		1.586.015		2.388	
1897	57.639		2.017.365		3.458	
1898	74.614		3.357.630		4.356	
1899	103.908		5.507.124	(**)	5.640	
1900	100.319		5.879.000		5.975	
1901	133.676		4.580.000		7.218	
1902	129.653		4.579.000		7.045	
	960.599	(30.617)	62.880.044		60.693	(2.697)

C. — Développement possible de l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie.

Les chiffres qui précèdent suffisent à montrer quelle a été jusqu'ici, pour la Nouvelle-Calédonie, l'importance de

(*) Les chiffres de ces trois colonnes sont établis en supposant tout le minerai exporté cru ; nous avons porté entre parenthèses, lorsqu'il y avait lieu, les chiffres relatifs au minerai fondu dans la colonie.

(**) Les valeurs des quantités de minerai exportées, indiquées pour les années antérieures à 1901, et en particulier pour les trois dernières, sont certainement exagérées ; elles paraissent avoir été obtenues en multipliant les tonnages de minerai humide par la valeur de la tonne de minerai sec ; elles seraient donc à réduire de 25 p. 100 environ.

l'industrie du nickel, et quel est l'intérêt qui s'attacherait, pour la prospérité de notre colonie, à ce que cette industrie se développe encore largement. Nous avons suffisamment montré dans ce qui précède combien grandes sont les ressources en métal facilement exploitables contenues dans le sol de la Nouvelle-Calédonie pour que chacun comprenne que l'on ne peut que souhaiter voir la demande de minerai augmenter, fût-ce au prix d'un abaissement des cours; les richesses de notre colonie peuvent en effet, pour peu qu'on les exploite d'une façon plus régulière, plus stable, et plus prévoyante, ce que ne manquerait pas de faciliter grandement une augmentation des débouchés, fournir à des demandes beaucoup plus importantes encore qu'aujourd'hui, et cela pendant de longues années.

Comme nous l'avons dit, cette augmentation des débouchés paraît assez étroitement liée aujourd'hui à une diminution du prix auquel le métal pourrait être offert au consommateur, et les gisements que nous venons de faire connaître pourraient, nous n'en doutons point, satisfaire à cette nécessité. Nous voudrions le montrer en quelques mots.

Si l'on reprend un à un les différents éléments du prix de revient du nickel que fournit la Nouvelle-Calédonie, on est frappé, en écartant pour le moment les charges importantes que comportent les difficultés de main-d'œuvre, sur lesquelles nous reviendrons d'ailleurs, on est frappé, disons-nous, de l'influence sur ce prix de revient de trois circonstances différentes. Ce sont : d'abord l'obligation d'abattre avec le minerai des quantités considérables de matières plus pauvres en nickel qu'il faut séparer par un minutieux triage et rejeter ensuite, puis, et surtout, l'augmentation de prix du simple au double que comporte le transport, depuis les Antipodes jusqu'en Europe, de minerais qui ne tiennent guère plus de 5 p. 100 de leur poids

du précieux métal, et enfin la cherté, inhérente à sa complication, du traitement métallurgique des minerais de nickel.

Pourrait-on diminuer ces lourdes charges et dans quelle mesure? C'est ce que nous allons discuter.

La question du traitement métallurgique des minerais de nickel, et en particulier de ceux de la Nouvelle-Calédonie, est de celles qui n'ont pas sans avoir été bien souvent étudiées, mais qui n'ont jamais pu recevoir jusqu'ici de solution plus satisfaisante que celle que nous avons fait connaître en quelques mots ci-dessus. C'est de l'affinité extrême du nickel pour le soufre que procèdent essentiellement les difficultés de la question : tout traitement par voie ignée, à moins qu'il n'ait lieu entièrement avec le secours de combustibles végétaux, c'est-à-dire de charbon de bois, comporte nécessairement l'absorption d'une certaine quantité de soufre par le métal, ce qui entraîne ensuite l'obligation d'un grillage extrêmement soigné et, par suite, fort onéreux ; le traitement du nickel uniquement au bois n'apparaissant comme guère possible aujourd'hui, il faut se résoudre à cette obligation ; dès lors la première fusion sulfurante, plus aisée que la première fusion pour fonte nickelifère, paraît indiquée, et le reste de la méthode actuellement usitée s'ensuit.

Ne pourrait-on pas tourner la difficulté par l'emploi d'une méthode de voie humide? C'est ce qui a souvent été étudié, mais ce qui a toujours échoué, en particulier devant les dépenses et les difficultés qu'entraînerait la dissolution, en même temps que du nickel, des quantités considérables de magnésie qui l'accompagnent. L'électrolyse, actuellement employée avec succès au Canada, pour répondre, il est vrai, à des difficultés de traitement tout autres, ou le procédé Mond, fondé sur la combinaison du nickel à l'oxyde de carbone, procédé que l'on essaie aujourd'hui de faire

entrer dans la pratique industrielle (*), ne pourraient-ils être appliqués avec économie au traitement des minerais de nickel de notre colonie ? C'est ce qui n'a pas paru possible jusqu'ici.

Nous pensons donc que, jusqu'au jour où quelque nouvelle invention aura permis la simplification de l'extraction du nickel des minerais de la Nouvelle-Calédonie, il faut compter avec des frais de traitement élevés, comme ils le sont aujourd'hui, c'est-à-dire peu inférieurs, tout compris, à 1 franc par kilogramme de métal produit.

Si nous passons maintenant à la question de l'abaissement possible de la teneur limite à laquelle le minerai est exploité, nous constatons que c'est, beaucoup plutôt que les nécessités du traitement métallurgique, l'élévation des frets, augmentant le prix de revient du nickel en raison inverse de cette teneur, qui fixe la limite de 7 p. 100 (pour le minerai sec) à laquelle on s'arrête aujourd'hui. Sans doute, chaque fois que l'on diminuera la teneur du minerai à passer, on augmentera les frais de fusion par unité de métal, et on diminuera un peu le rendement de l'opération. Si, en effet, l'on suppose une légère diminution de la teneur du minerai en nickel, avec augmentation correspondante du fer et de la magnésie, l'allure générale de l'opération n'en sera pas grandement modifiée ; cependant la richesse en nickel de la matte obtenue sera moindre et sa teneur en fer plus forte, tandis que la quantité de scorie produite sera un peu plus élevée ; dès lors, pour maintenir une température suffisante au creuset, il deviendrait nécessaire, comme cela se fait déjà maintenant, mais dans une mesure moins large, d'ajouter des matières riches en nickel, soit scories de déferration, soit, à défaut, une petite quantité des mattes produites par l'opération même,

(*) *Le procédé Mond pour l'extraction du nickel*, par M. Léon Guillet (*Génie civil*, t. XLI, 2e semestre 1902, p. 72).

et cela n'irait pas sans exiger une augmentation de l[a] charge de coke. La scorie, qui contient une certaine quan[-] tité de nickel, surtout en raison d'un entraînement méc[a-] nique de particules de matte, entraînerait à peu près [la] même proportion de matte, puisque le rapport entre l[es] quantités des deux éléments serait maintenu en repassa[nt] des mattes, et il n'y aurait guère d'augmentation de [la] perte en nickel que du fait du double passage à la pre[-] mière fusion d'une partie de la matte ; il pourrait d'ailleurs aussi y avoir une légère augmentation du fait de la petite teneur en nickel combiné que peut présenter la scorie. Dans ces conditions, si l'on suppose que l'on vienne à abaisser de 7 p. 100 à 5 p. 100 la teneur en nickel du minerai sec, la teneur de la matte tomberait entre 35 et 40 p. 100 de nickel, et la perte au traitement, qui est évaluée au maximum à 10 p. 100 du métal contenu, pourrait atteindre jusqu'à 20 p. 100 ; la consommation de coke pour la première fusion passerait vraisemblablement de 8 à 12 ou 13 par unité de métal.

Dès lors, les frais de première fusion, qui, comme nous l'avons dit, peuvent être actuellement évalués aux environs de 45 à 50 centimes par kilogramme de métal, atteindraient vraisemblablement 65 à 70 centimes, en augmentation de 20 à 25 centimes, en même temps que la consommation de minerai, au lieu d'être de 16 kilogrammes de minerai sec à 7 p. 100, s'élèverait aux environs d[e] 25 kilogrammes de minerai sec à 5 p. 100. On voit, qu'e[n] tenant d'autre part compte du fret(*), qui revient a[ux] environs de 50 francs par tonne sèche, la dépense p[ar] kilogramme de métal se trouverait accrue en ou[tre] de 45 centimes, soit au total 65 à 70 centimes, c'e[st-]à-dire assez exactement du prix que coûte actue[llement]

(*) Nous ne tenons pas compte ici de l'augmentation des frais [de] [raffi]nage de la matte en raison de sa moindre richesse, car cette augm[enta]tion serait vraisemblablement très faible.

ment le minerai sur place; il faudrait donc, pour pouvoir substituer le minerai à 5 p. 100 au minerai à 7 p. 100, que son prix de revient, rendu à bord en Nouvelle-Calédonie, fût nul.

La nécessité du transport du minerai cru jusqu'en Europe prohibe donc d'une façon absolue l'emploi du minerai à teneur de 5 p. 100. Pour le minerai à la teneur de 6 p. 100, il n'en serait pas tout à fait de même ; néanmoins il serait difficile à notre avis d'abaisser suffisamment le prix de revient sur place du minerai à 6 p. 100 pour qu'il y ait avantage à le substituer au minerai à 7 p. 100; il est cependant bon de signaler ici que des expéditions de minerai à teneur comprise entre 6 et 6 1/2 p. 100 ont été faites récemment en Amérique, et y auraient donné lieu, en 1901, à la production de 1.796 tonnes de nickel (*).

Il semble, au contraire, que rien ne s'opposerait à ce que l'on fondît sur place des minerais à plus faible teneur s'ils pouvaient être produits à des prix suffisamment bas. Il est naturellement fort difficile, en raison à la fois de la très grande différence qui existe d'un gisement à l'autre et de l'absence totale de toute reconnaissance systématique de ces gisements, de fixer quel serait l'abaissement de prix de revient qui correspondrait à un abaissement de la teneur limite des minerais exploitables; il serait en tout cas considérable. Si nous envisageons, par exemple, le cas où l'on en viendrait à exploiter jusqu'à la teneur de 5 p. 100, nous ne craignons pas d'affirmer que le prix de revient de la tonne de minerai pourrait être abaissé, dans beaucoup de cas, de moitié, peut-être même des deux tiers. Il ne faut pas oublier en effet qu'aujourd'hui on abat forcément des quantités importantes de minerai à plus faible teneur en même temps que les minerais utilisables; donc, sans augmenter les frais

(*) R. P. Rothwell, *The mineral Industry to the end of* 1901, p. 486.

d'abatage, on aurait déjà un accroissement considérable du tonnage utilisable; les frais de triage ne seraient pas augmentés, ils seraient souvent même diminués (il suffit pour en être persuadé d'avoir vu sur les carrières de presque toutes les mines des quantités considérables de tas de matières prêtes à être expédiées, mais qui ne pouvaient l'être parce que l'analyse y avait montré des teneurs de 4 p. 100, 4 1/2 p. 100, 5 p. 100, et souvent même 5 1/2 p. 100 ou 6 p. 100, et parce qu'on ne disposait pas d'assez de minerai riche pour les porter à la teneur de 7 p. 100). Quant aux frais de transport, ils ne seraient accrus que de bien peu, car la plupart des câbles ou voies ferrées sont loin de transporter non seulement le maximum de ce qu'ils peuvent débiter, mais encore souvent le maximum de ce que pourraient manutentionner les ouvriers qui en font le service. Si donc nous admettons, ce qui n'est en moyenne pas supérieur à la réalité, croyons-nous, que le triage des masses abattues fait en vue d'en retirer du minerai à 5 p. 100, en donnerait facilement deux fois à deux fois et demie plus que de minerai à 7 p. 100, nous constatons que la totalité de ce minerai descendu au bord de la mer (nous ne comptons ici ni le chalandage, ni les droits d'exportation, etc..., qui n'entreraient plus en ligne de compte si le minerai était traité sur place) reviendrait à peine plus cher que la petite quantité actuellement descendue ; il n'est donc pas téméraire d'escompter que le prix de revient de la tonne serait facilement diminué de moitié, en même temps que l'on assurerait l'utilisation de 10 à 12 unités de métal au lieu de 7 (*). Mais ce n'est pas tout; à côté des masses que l'on abat aujourd'hui, on laisse des masses minéralisées très faciles à exploiter et

(*) Pour être tout à fait exact, il faudrait tenir compte de l'augmentation de la perte au traitement, ce qui revient à dire qu'on assurerait l'utilisation de 8 à 9,6 unités de métal au lieu de 6,3.

pour lesquelles toutes les préparations et installations sont faites, uniquement parce qu'elles ne sauraient donner une proportion rémunératrice de minerai à 7 p. 100, alors que dans bien des cas elles pourraient parfaitement en fournir dans de bonnes conditions à 5 p. 100 ; il y aurait là une modification très importante dans l'utilisation des gîtes et des installations faites pour les mettre en exploitation. Nous ne croyons donc pas exagérer en disant que le prix de revient par *kilogramme de métal* contenu dans le minerai pourrait, avec une bonne organisation, être abaissé au moins de moitié, c'est-à-dire descendre à 30 ou 35 centimes.

L'abaissement de la teneur limite à laquelle les minerais de nickel calédoniens sont utilisables nous apparaît donc comme intimement liée, du moins si l'on se préoccupe de réaliser un abaissement réellement sérieux de cette teneur, à la question d'une première fusion du minerai sur place, en vue de réduire considérablement la proportion de matière stérile à transporter avec le nickel. On transporte aujourd'hui, rappelons-le, de 945 à 950 kilogrammes de matière stérile pour 50 à 55 kilogrammes de nickel métallique (minerai à 7 p. 100 à sec et tenant de 20 à 25 p. 100 d'humidité), ce qui représente une dépense de 80 centimes au moins par kilogramme de métal (en ajoutant au fret les frais de chalandage et autres frais accessoires) ; le jour où l'on pourrait substituer au transport de tels minerais celui de mattes tenant de 35 à 45 p. 100 de nickel, la dépense par kilogramme de métal tomberait à 8 ou 10 centimes, c'est-à-dire qu'elle s'abaisserait de 70 centimes environ. Ne serait-il pas aisé de réaliser tout ou partie de cette importante économie ? C'est ce qui semble tout indiqué au premier abord, et c'est ce dont l'étude, sommaire il est vrai, que nous avons pu faire de la question nous a donné la persuasion, bien que,

nous devons le reconnaître, l'économie en question ne soit pas aussi facile à réaliser qu'on pourrait le croire. Mais il y a plus; en même temps que la fusion sur place des minerais mêmes que l'on utilise actuellement, et l'exportation ultérieure de mattes riches, permettrait de réaliser une réelle économie sur les errements actuels, elle ferait disparaître l'obstacle que nous signalions ci-dessus à un abaissement sérieux de la teneur des minerais traités. Ce sont ces deux points que nous nous proposons maintenant de mettre brièvement en lumière.

La question de la fusion sur place des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie n'est pas neuve : elle s'est posée dès le début, et on n'avait pas tardé à la résoudre par l'affirmative. Deux mi-hauts fourneaux (hauteur 7 mètres, volume 18 mètres cubes) furent construits à la pointe Chaleix près de Nouméa, en 1879; la fusion eut d'abord lieu pour produire des fontes nickelifères (à 65 p. 100 de nickel); elle fut ensuite réglée pour obtenir des mattes tenant aux environs de 60 p. 100 de nickel, et fut pratiquée régulièrement jusqu'au début de 1885, époque où la première crise qui a sévi sur le marché du nickel obligea à mettre les hauts fourneaux hors feu. Cette tentative doit être considérée comme ayant donné des résultats satisfaisants dans les conditions où se trouvait alors le marché du nickel et où se pratiquait la métallurgie de ce métal; les prix de revient de première fusion, voisins de 1 franc par kilogramme de nickel métal, auxquels on était arrivé, n'avaient en effet rien d'excessif alors.

Si les renseignements que nous avons pu recueillir sur cette première tentative, déjà ancienne, sont exacts, la fusion pour fonte nickelifère de minerais à teneur voisine de 10 p. 100 de nickel consommait, par tonne de minerai humide, 480 kilogrammes de coke australien,

revenant à 80 francs la tonne, 110 kilogrammes de houille de même provenance à 37 francs, et 500 kilogrammes de castine à 12 francs ; le prix de revient total de la fusion ressortait ainsi à 87 francs par tonne de minerai, soit 637 francs par tonne de fonte (rendement en fonte de 13 1/2 p. 100), soit encore 1 franc par kilogramme de nickel (teneur de la fonte 65 p. 100). Mais, en présence des difficultés du traitement de cette fonte, qui tenait de 1 1/2 à 2 p. 100 de soufre, on dut en revenir à la fusion pour matte ; celle-ci eut lieu du début de 1882 au début de 1885, soit pendant 3 ans ; elle a porté sur 16.000 tonnes de minerai ; essayée d'abord en employant comme sulfurant le soufre, elle a été poursuivie grâce à l'emploi du gypse de la colonie ; les lits de fusion contenaient en moyenne, par tonne de minerai, 445 kilogrammes de coke, 80 kilogrammes de houille, 380 kilogrammes de castine, et 75 kilogrammes de gypse revenant à 40 francs la tonne ; le prix de revient total était de 79 francs par tonne de minerai fondu, soit 593 francs par tonne de matte produite (rendement en matte 13 1/3 p. 100) et 0fr,95 par kilogramme de nickel (teneur de la matte 62 p. 100) (*). Dans les derniers temps de marche de l'usine, on avait essayé la fabrication sur place des cokes nécessaires à la fusion à l'aide de menus importés crus d'Australie ; cela paraissait devoir réaliser une économie importante sur la dépense de combustible.

Lorsqu'en 1889 une nouvelle ère de prospérité s'ouvrit pour l'industrie du nickel, on reconnut à nouveau la nécessité de la fusion sur place, d'autant plus que le prix du métal avait notablement baissé et tendait à se fixer aux environs de 5 francs le kilogramme. L'usine de Nouméa n'était plus en marche et exigeait naturelle-

(*) On a également fondu des minerais de cobalt et obtenu soit des mattes de cobalt, soit des mattes mixtes de nickel et cobalt.

ment quelques réfections ; la société le Nickel crut préférable, dans le but d'éviter le transport encore assez onéreux du minerai depuis ses centres d'exploitation, situés principalement à Thio, jusqu'à Nouméa, de la transférer au pied même des mines ; on en profita d'ailleurs pour essayer la fusion au cubilot dans des conditions analogues à celles qui avaient déjà fait leurs preuves à Kirkintilloch. C'est alors que fut créée l'usine d'Ouroué, à l'embouchure de la Dothio, soit à 4 kilomètres environ de Thio. Les cubilots, larges et très bas (diamètre $1^{m},73$, hauteur entre la porte de chargement et les tuyères 1 mètre seulement), qui furent construits, paraissent n'avoir jamais fonctionné dans des conditions satisfaisantes ; leur marche, entre les mains du personnel dont on disposait, fut toujours très irrégulière : on chargeait, par tonne de minerai (à teneur de 7 à 8 p. 100), jusqu'à 620 kilogrammes de coke, 220 kilogrammes de charbon, 320 kilogrammes de corail et 22 kilogrammes de soufre ; le prix de revient de la fusion avec de semblables consommations ne pouvait être que très élevé ; il aurait atteint $1^{fr}50$ par kilogramme de nickel métal, marquant ainsi un retour en arrière sur ce qui avait été fait 10 ans auparavant. Aussi n'a-t-on pas tardé à mettre hors feu l'usine d'Ouroué (au début de 1891) et à recommencer à expédier tout le minerai cru en Europe. Cette deuxième tentative est la dernière qui ait été faite pour la fusion du nickel sur place ; comme on le voit, elle a été très malheureuse, et c'est évidemment à son échec qu'est due l'hésitation, tant de la société le Nickel que de tous autres exploitants, à entrer à nouveau dans une voie qui paraît cependant si indiquée. Il est bon d'ailleurs d'insister sur ce fait que l'on n'a pas renoncé à poursuivre la tentative faite à Ouroué parce que l'on aurait reconnu que, dans les meilleures conditions que l'on puisse réaliser en Nouvelle-Calédonie, les frais restaient

encore plus élevés que les frais de fusion en Europe augmentés du fret, mais bien parce que l'on n'a pas réussi à faire marcher régulièrement une fabrication qui, ailleurs et en d'autres mains, réussissait bien. L'insuccès de cette tentative ne saurait donc condamner en aucune façon le principe de la fusion sur place ; il montre tout au plus, à notre avis, qu'il ne faudrait pas en entreprendre une nouvelle sans prendre grand soin de s'assurer le concours d'un personnel parfaitement capable de la mener à bien.

Une nouvelle tentative de fusion sur place pourrait être faite dans deux buts différents : le premier serait simplement d'abaisser le prix de revient final du nickel métal en partant des mêmes minerais ; le second serait de rendre possible l'utilisation de minerais à teneur inférieure (5 p. 100, par exemple), utilisation aujourd'hui impossible comme nous l'avons montré. En fait, la fusion sur place devrait, à notre avis, tendre à ce double but ; peut-être ne permettrait-elle pas dès le début la fusion de minerais à 5 p. 100, tout en abaissant le prix de revient, mais du moins permettrait-elle sans doute celle de minerais à 6 p. 100, et ce serait déjà un joli résultat à la fois au point de vue de la puissance de production des mines de la Nouvelle-Calédonie et de la bonne utilisation de leurs richesses.

Nous ne pouvons songer à établir avec précision quels seraient les frais d'une première fusion en Nouvelle-Calédonie, car cela dépendrait trop des conditions dans lesquelles on la tenterait ; et ces conditions mêmes varieraient pour chaque société, car c'est à la fois de l'étendue et de la richesse des concessions qu'elle posséderait, de leur situation géographique, de l'importance de la production qu'elle voudrait réaliser, etc..., que dépendraient et la position à choisir pour son usine, position avec

laquelle varierait le prix des matières premières, et le développement à lui donner, développement qui influerait largement sur les frais de main-d'œuvre et plus encore sur les charges d'amortissement. Ce que nous pouvons seulement dire, c'est que, pour se rendre compte de l'opportunité de la fusion sur place, il faudrait comparer, d'une part le total des frais de chalandage à l'embarquement, des droits sur le minerai exporté, du fret jusqu'en Europe et des frais de débarquement et de première fusion en Europe des minerais, au total des frais de fusion sur place des mêmes minerais et des frais d'embarquement de transport en Europe et de débarquement de la matte, d'autre part.

Le premier de ces totaux, rapporté au kilogramme de métal, peut être évalué comme suit :

	Fr.		Fr.
Frais d'embarquement..............	0,05	à	0,08
Droits sur le minerai exporté........			0,005
Fret jusqu'en Europe................	0,70	à	0,80
Frais de débarquement.............	0,02	à	0,03
Frais de première fusion............	0,40	à	0,50
TOTAL environ......	1,20	à	1,40

Les frais d'embarquement, de transport, et de débarquement en Europe de la matte à produire ne représenteraient pas plus d'une soixantaine de francs par tonne, c'est-à-dire à peine $0^{fr},135$ par kilogramme de métal; on voit donc que, même avec des frais de première fusion pour mattes de $0^{fr},95$, tels qu'ils étaient réalisés à la pointe Chaleix en 1883-1884 (avec des minerais un peu plus riches, il est vrai), l'opération apparaîtrait comme devant être économique. Nous ne doutons pas d'ailleurs que les frais de fusion d'autrefois pourraient être largement abaissés aujourd'hui. Si on examine en effet les frais de première fusion, on voit qu'ils se partagent à peu près

ar moitié entre les matières d'une part (coke, castine t fondants) et la main-d'œuvre et les frais généraux 'autre part.

Sans vouloir compter ici sur l'utilisation possible des charons néo-calédoniens, nous supposerons que l'on emploie niquement du charbon australien; il fournit en effet n coke de qualité parfaitement suffisante, comme le iontrent les analyses et essais de ce coke, et l'expérience int des fondeurs de la Nouvelle-Galles du Sud que es importantes usines de Port-Pirie (Australie du ud) où l'on traite les minerais de Broken-Hill. Pris à état de coke à Newcastle, il coûterait de 16 à 20 shilngs la tonne, suivant les cours, soit 20 à 25 francs, il erait, en outre, grevé de 10 à 12 francs de frais de transort et d'une somme presque égale pour frais de débarque-.ent et pour tenir compte du déchet; il reviendrait donc ntre 40 et 50 francs la tonne rendue sur place : si, au conaire on créait des fours à coke dans la colonie, on pourit utiliser des charbons menus, qu'on trouve à acheter à ewcastle au degré de pureté suffisant à des prix de 6 à shillings la tonne, soit 7^{fr},50 à 10 francs, qui pourraient onc être rendus en Nouvelle-Calédonie à 20 francs la nne environ, et qui pourraient ainsi fournir du coke à oins de 40 francs. La castine, empruntée soit aux calires de la côte Ouest (qui tiennent 80 à 90 p. 100 de rbonate de chaux, 2 à 5 p. 100 de carbonate de magnée et 3 à 10 p. 100 de silice), soit aux coraux (ceux qui it été employés à Ouroué tenaient 90 p. 100 de carbonate e chaux, 5 1/2 p. 100 de carbonate de magnésie et 1/2 p. 100 d'impuretés diverses, silice, sesquioxyde de r, etc.), reviendrait à des prix un peu variables suivant point où serait située l'usine, mais n'excédant vraisemlablement pas 10 francs la tonne. Quant à la matière ılfurante, le soufre (que l'on pourrait faire venir assez isément du Japon) serait d'un emploi toujours fort coû-

teux, en raison de sa volatilisation partielle au gueulard ; il serait bien préférable d'employer le gypse calédonien (qui, bien débourbé, tient jusqu'à 95 p. 100 de sulfate de chaux, soit 17 1/2 p. 100 de soufre), dont il existe, comme nous nous en sommes assuré, des dépôts considérables, et qui, bien qu'un peu ingrat à exploiter à cause de son gisement en cristaux quelque peu empâtés d'argile, pourrait être obtenu à assez bon compte ; il revenait, paraît-il, autrefois à 40 francs la tonne rendue à la pointe Chaleix ; nous adopterons ce chiffre tout en mentionnant qu'il pourrait vraisemblablement être réduit dans une large proportion.

Dès lors les dépenses de combustible et fondants pourraient s'évaluer au maximum ainsi qu'il suit :

	Par tonne de minerai humide			Par kilogramme de nickel métal
Coke...	400 kilogr.	à 40 francs la tonne :	16 francs	0fr,32
Castine.	200	10	2	0 ,04
Gypse..	100	40	4	0 ,08
	Total................		22	0fr,44

Il est beaucoup plus difficile d'évaluer les dépenses de main-d'œuvre et de frais généraux ; elles seraient assurément plus élevées qu'en Europe, en raison principalement de la nécessité de faire venir d'Europe quelques bons chefs d'équipe auxquels on allouerait des salaires élevés ; nous pensons cependant que, si, en Europe, elles ne dépassent pas 25 centimes par kilogramme de métal, nous ne serions pas au-dessous de la réalité en les majorant de moitié, c'est-à-dire en les portant à 37 centimes 1/2. Cela ferait ressortir les frais de fusion sur place au total de 81 centimes 1/2 que nous croyons largement calculé.

Dès lors le prix de revient de la matte rendue en Europe, rapporté au kilogramme de métal, ne comprendrait, en plus du prix de revient du minerai rendu au bord de la mer en Nouvelle-Calédonie, qu'une somme de 0fr,95

au lieu de 1fr,20 à 1fr,40, soit 1fr,55 à 1fr,60 minerai compris, au lieu de 1fr,80 à 2 francs ; il y aurait là une diminution importante dans le prix de revient du métal.

Mais il y a plus ; on pourrait aborder en Nouvelle-Calédonie la fusion des minerais pauvres : nous n'entendons pas naturellement en présenter une démonstration complète, aidé seulement de chiffres que nous ne considérons pas comme établis avec une précision suffisante ; nous voulons simplement en faire comprendre la possibilité. Si, au lieu de fondre du minerai à 7 p. 100, on venait à fondre du minerai à 5 p. 100, dont le prix de revient par unité de métal serait, nous le supposons, abaissé de moitié, c'est-à-dire réduit à 30 ou 32 centimes, les dépenses de combustible seraient, comme nous l'avons mentionné, augmentées dans le rapport de 8 à 12 ou 13, c'est-à-dire portées de 32 centimes à 50, les frais de fondants, de main-d'œuvre et les frais généraux seraient seulement augmentés dans le rapport des poids de minerai traités, c'est-à-dire dans le rapport de 6,3 (rendement du minerai à 7 p. 100) à 4 (rendement du minerai à 5 p. 100) ; ils seraient donc portés de 50 à 78 centimes.

Dans cette nouvelle hypothèse, au lieu de pouvoir amener en France une matte à 45 p. 100 de nickel revenant à 1fr,55 ou 1fr,60 tout compris par kilogramme de métal, on l'amènerait à la teneur de 35 à 40 p. 100 seulement et avec un prix de revient se décomposant ainsi :

Valeur du minerai rendu à l'usine de fusion.....	0fr,30 à 0fr,32
Dépense de combustible........................	0fr,50
Autres frais de première fusion (fondants, main-d'œuvre, frais généraux)....................	0 ,78
Frais de transport en Europe..................	0 ,16
TOTAL..................	1fr,74 à 1fr,76

Il semble donc qu'on ne reperdrait, à traiter le minerai à

5 p. 100, qu'une partie du bénéfice de la fusion sur place, mais on assurerait en même temps une bien meilleure utilisation des gîtes de nickel de la colonie : on resterait d'ailleurs vraisemblablement au-dessous des prix de revient actuels. Peut-être même, ce que nous ne sommes pas éloigné de croire, nos évaluations ont-elles été supérieures à ce que seraient en réalité les différentes dépenses, et serait-il tout aussi avantageux de traiter sur place des minerais pauvres que des minerais à 7 p. 100. En tous cas, si c'est vouloir aller trop loin que de descendre jusqu'à la teneur de 5 p. 100, pourrait-on sans doute aller avec profit jusqu'à 6 p. 100 ou 5 1/2 p. 100.

En quel point de la colonie devrait être située une telle usine de fusion du minerai ? C'est ce que nous ne saurions préciser ici, car cela dépendrait essentiellement de la situation des gisements destinés à fournir le minerai : la société le Nickel étudie, croyons-nous, le projet d'une usine de première fusion à Thio, et elle ne peut en effet que la placer près de ses mines les plus productives ; la société « Nickel Corporation Limited », qui possède surtout des gisements sur la côte Ouest, serait amenée à construire son usine de préférence sur cette côte ; et telle entreprise nouvelle qui viendrait à se fonder chercherait tout naturellement à procéder à la fusion de ses minerais en un point où elle pourrait amener à bon compte à la fois ceux-ci et les charbons et fondants qu'elle aurait besoin de faire venir par mer.

On a également songé à fondre sur place le minerai de Nouvelle-Calédonie pour fonte nickelifère pure de soufre et par suite directement utilisable dans la métallurgie : il faudrait pour cela avoir recours au charbon de bois comme combustible, et nous ne voyons aucun point de la colonie où l'on pourrait l'obtenir en grande quantité et à des prix suffisamment bas. Tout au plus une telle fabrication pourrait-elle devenir une annexe de la fabri-

principale dans les conditions que nous venons d'in-

s ne mentionnerons ici que pour mémoire d'autres s dont on a parlé et dont on parle encore : ils con- ıient à utiliser les forces hydrauliques, qui ne seraient tre pas trop difficiles à aménager dans certains de la colonie, au traitement des minerais de nickel : nerais tels qu'on les exploite ne sont pas accessibles rocédés actuels de l'électro-métallurgie, il faudrait eur faire subir une première fusion; mais alors le se trouverait déjà suffisamment concentré pour que xpédition en Europe pour raffinage paraisse être la ıre solution. On a même parlé d'employer comme ts les minerais sulfurés de cuivre du Nord de l'île, d'obtenir une matte cupronickelifère dont on sépare- ısuite les deux métaux par l'électrolyse, comme on pour les minerais du Canada. C'est là un projet et dont nous ne saurions prévoir, pour le moment et a situation économique et industrielle générale de nie, ni la réalisation ni le succès.

i qu'il en soit, il nous paraît en tous points essen- ıent souhaitable pour la colonie que la question de la sur place des minerais de nickel qu'elle produit soit eprise; c'est celui des progrès dans l'utilisation des rces en nickel de la Nouvelle-Calédonie qui aurait ıement le plus heureux effet sur le développement ploitation de ces richesses; il en résulterait pour oducteurs du nickel calédonien la possibilité ser notablement le prix de vente du métal, et par e soutenir dans des conditions meilleures encore la rence des produits du Canada; cela permettrait en et entraînerait certainement à très bref délai, une ion beaucoup meilleure des réserves de nickel con- dans le sol de la colonie. Aussi M. le Gouverneur

de la Nouvelle-Calédonie a-t-il été très heureusement inspiré lorsque, voulant hâter la réalisation d'un projet qui touche aussi directement aux intérêts généraux de la colonie, il promettait la concession gratuite des terrains nécessaires à l'érection de la première usine de fusion; nous rappelons d'ailleurs que la redevance de 25 centimes par tonne de minerai de nickel extraite n'est perçue que sur les minerais non transformés dans la colonie.

D. — Les gisements de nickel concurrents.

Une dernière question se pose pour celui qui veut peser les chances de développement de l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie : c'est celle de la concurrence qui peut être faite à cette industrie par les industries similaires existant ou à créer dans d'autres pays du monde. Bien que nous n'ayons pas eu le loisir de procéder à une étude approfondie de cette question, au sujet de laquelle seul l'examen sur place des autres gisements de nickel, et en particulier de ceux du Canada, aurait pu nous permettre de nous faire une opinion personnelle, nous terminerons ce qui a trait aux gisements de nickel de la Nouvelle-Calédonie par quelques indications sur les autres gisements du monde.

Avant la mise en exploitation du nickel en Nouvelle-Calédonie, la production de ce métal, qui était annuellement de 400 tonnes environ, se répartissait entre quelques gisements de minerais sulfurés complexes situés en Allemagne, en Hongrie, en Suède et Norwège et en Espagne et le gisement de pyrrothine nickelifère et chalcopyrite de Lancaster Gap en Pensylvanie; mais peu à peu la concurrence de ces différents gisements a été éteinte grâce aux prix de plus en plus bas auxquels était livré le nickel de la Nouvelle-Calédonie; si bien qu'en 1889, lorsque

Canada a commencé à entrer en ligne, la production annuelle du reste du monde ne s'élevait plus qu'à 187 tonnes, et elle est depuis tombée à quelques tonnes seulement, pour se relever, il est vrai, à 167 tonnes en 1901.

Le Canada s'est, au contraire, montré pour la Nouvelle-Calédonie un concurrent redoutable, et, si les chiffres que nous avons donnés ci-dessus montrent que, malgré cette concurrence, notre colonie est toujours restée le premier pays producteur de nickel dans le monde entier, cela n'a pas été sans une lutte acharnée au cours de laquelle le prix du nickel était tombé jusqu'à 2fr,40 le kilogramme, amenant la fermeture de presque toutes les mines de la colonie, et obligeant la société le Nickel, le principal exploitant du nickel en Nouvelle-Calédonie, à suspendre toute distribution de dividendes pendant cinq ans.

Aujourd'hui les cours sont remontés, le marché s'est régularisé et, grâce à une entente plus ou moins complète entre les producteurs, la Nouvelle-Calédonie garde son rang; mais il n'en est pas moins vrai que l'industrie du nickel se développe au Canada et que la production des mines de ce pays s'est rapidement accrue dans ces dernières années. Est-ce à dire que la Nouvelle-Calédonie ait beaucoup à craindre de cette concurrence? Nous ne le pensons pas; car, autant que nous pouvons en juger avec les documents dont nous disposons, les conditions naturelles des gisements du Canada sont en elles-mêmes beaucoup moins favorables que celles de notre colonie.

Le nickel se présente au Canada, comme on le sait, sous forme de pyrrothine nickelifère et cuprifère, c'est-à-dire de sulfure magnétique de fer auquel sont associés du nickel ainsi que du cuivre, ce dernier sous forme de chalcopyrite; cette pyrrothine existe en lentilles plus ou moins épaisses interstratifiées dans le puissant massif de gneiss

laurentiens très métamorphisés de Sudbury (Ontario); elle est associée à des épanchements de diorite, et c'est cette roche qui forme la gangue du minerai. Tantôt la pyrrothine est pauvre en cuivre et en nickel et n'est guère utilisable que lorsqu'elle peut être abattue à ciel ouvert en grandes masses; ailleurs, elle forme un riche minerai de cuivre; plus loin elle contient à la fois quelques centièmes de nickel et de cuivre, dont l'ensemble lui donne une valeur suffisante pour justifier une exploitation par travaux souterrains et un traitement métallurgique assez compliqué. D'après les statistiques officielles du bureau des mines de la province d'Ontario, la marche de l'exploitation de ces minerais, au cours des dernières années, serait caractérisée par les quelques chiffres qui suivent :

Années......	1897	1898	1899	1900	1901
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Minerai extrait....	84.575	112.510	184.431	196.760	296.866
Minerai fondu.....	87.252	110.707	155.487	192.460	245.504
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Teneur en cuivre..	2,86	3,43	1,66	1,59	1,28
Teneur en nickel..	2,08	2,28	1,68	1,67	1,64
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Poids du nickel contenu...........	1.815	2.524	2.608	3.214	4.032

Les ressources en nickel existant dans la région paraissent considérables : dès 1890 un rapport officiel adressé au secrétariat de la Marine des États-Unis (*) estimait la quantité de minerai alors reconnue au chiffre considérable de 650 millions de tonnes, que nous ne reproduisons ici que sous réserves, et l'exploration de la région paraît avoir fait connaître depuis de nouvelles et importantes réserves.

(*) *In* Levat, *Progrès de la métallurgie du nickel* (*Annales des Mines*, 9e série, t. I, p. 166; 1892).

Cependant les facilités de l'abatage de ces minerais ne paraissent de loin pas être ce qu'elles sont en Nouvelle-Calédonie pour des minerais notablement plus riches (d'autant plus que, dans l'état actuel des choses, une unité de cuivre ne saurait guère être comptée que pour une demi-unité de nickel), et d'autre part le développement de l'extraction au Canada paraît avoir été accompagné, comme l'indiquent les chiffres du tableau ci-dessus, d'une tendance à la diminution de la teneur du minerai traité. Enfin le traitement du minerai, qui comporte d'abord un premier grillage, et une fusion pour matte, puis un deuxième grillage suivi d'une deuxième fusion, ou bien une opération à la cornue Bessemer, et enfin une séparation électrolytique encore assez coûteuse du cuivre et du nickel, est loin d'être plus facile que celui des minerais de Nouvelle-Calédonie. En outre, le nickel obtenu est toujours moins pur que le nickel calédonien ; il tiendrait, d'après les renseignements que nous avons pu obtenir, de 0,8 à 0,9 p. 100 de cuivre, environ un millième d'arsenic et un demi-millième de phosphore. Il donnerait lieu pour les aciers, et surtout pour les aciers à fortes teneurs en nickel, à des difficultés et à des irrégularités dans le traitement qu'on n'observe pas avec le nickel provenant de notre colonie. Par contre, la situation industrielle générale du Canada paraît être très favorable et a permis dans ces dernières années un développement important des exploitations et des usines de traitement, développement à la faveur duquel la production du nickel au Canada est sans cesse croissante. Il y a là une concurrence sérieuse pour l'industrie de notre colonie ; mais, bien que, nous le répétons, nous ne puissions établir de comparaison que d'après des documents plus ou moins complets, il nous semble qu'au point de vue des conditions naturelles tout l'avantage reste aux minerais de la Nouvelle-Calédonie, les minerais canadiens étant moins riches, moins purs,

plus coûteux à abattre et plus difficiles à traiter; ce que le Canada a pour lui, ce sont des conditions sur lesquelles l'homme a la plus large action, à savoir l'abondance et la bonne qualité de la main-d'œuvre, la conduite de l'exploitation sur une assez large échelle et dans des conditions bien appropriées, des moyens de transport économiques, et des usines de traitement bien aménagées établies auprès des gîtes. Tout cela, nous ne nous le dissimulons pas, est beaucoup plus difficile à réaliser dans une île aussi isolée que la Nouvelle-Calédonie que dans un pays en plein développement, comme le Canada ; mais il serait facile de faire à ces différents points de vue beaucoup mieux que l'on ne fait aujourd'hui, et de réaliser des progrès qui mettraient notre colonie dans de bien meilleures conditions pour soutenir la concurrence du nickel canadien. Rappelons d'ailleurs ici que la société américaine « Nickel Corporation limited » a acquis un domaine minier considérable en Nouvelle-Calédonie, déclarant vouloir l'exploiter pour approvisionner de nickel le marché américain, et qu'elle a expédié en 1901 quelque 30.000 tonnes de minerai aux États-Unis; il est d'ailleurs difficile de dire aujourd'hui si elle continuera dans cette voie et exploitera sérieusement ses mines, ou si elle ne se servira pas plutôt de ses gisements de Nouvelle-Calédonie comme d'une simple menace pour empêcher le gouvernement canadien de frapper de droits importants, comme il veut le faire, l'exportation aux États-Unis des mattes et des minerais de nickel.

A côté du Canada, on a récemment cherché à ouvrir en Silésie une exploitation sur des minerais silicatés pauvres de nickel, connus dès longtemps comme associés à une formation serpentineuse, restreinte d'ailleurs ; il ne semble pas que cette exploitation ait eu un grand succès jusqu'ici et soit appelée à se développer beaucoup.

Enfin, parmi les gisements de nickel assez nombreux

qui existent aux États-Unis, ceux de l'Orégon (comté de Douglas) se présenteraient dans des conditions géologiques très analogues à celles de la Nouvelle-Calédonie. On n'a pas jugé jusqu'ici que leur extension puisse justifier la création des coûteuses voies de transport que leur mise en valeur exigerait. Sans qu'on puisse dire qu'ils ne sont pas utilisables, il semble que leur concurrence ne soit pas fort à redouter pour nous, d'ici quelque temps.

Ce sont donc les gisements du Canada seuls qui constituent aujourd'hui une concurrence pour ceux de notre colonie, concurrence très sérieuse, cela est vrai, mais qui ne doit pas empêcher l'essor de l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie, si ceux qui en ont la charge savent faire ce qui est nécessaire pour profiter des avantages naturels considérables que réunissent les gisements de notre colonie.

Pour nous donc, persuadé que nous sommes qu'aujourd'hui un large développement de la consommation du nickel suivrait de près un notable abaissement du prix auquel il peut être offert aux consommateurs, nous n'hésitons pas à conclure qu'un essor considérable sera possible pour l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie le jour où, par la première fusion sur place du minerai, on résoudra la double question d'un abaissement notable du prix de revient et d'une utilisation bien meilleure des gisements.

Lorsque ce problème capital aura reçu une solution satisfaisante, les gisements aujourd'hui exploités pourront l'être sur une beaucoup plus large échelle et d'une façon beaucoup plus rationnelle, de nouveaux espaces riches en minerai pourront être mis en valeur, une importante industrie de première fusion pourra être créée; et, dans ces conditions, notre colonie continuera à tenir en échec la concurrence canadienne, si même elle n'arrive

pas à en triompher plus ou moins complètement. La Nouvelle-Calédonie sera dès lors prête à livrer annuellement, à bas prix, au monde entier les milliers de tonnes de nickel dont il aura besoin en nombre sans doute rapidement croissant.

(La suite à une autre livraison.)

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUSTRALIE OCCIDENTALE EN 1902

1° **Or.** — L'Australie occidentale avait produit, en 1901 (*), 879.391 onces d'or au titre moyen de 0,90636 ou 1.703.416 onces, uivalant, à raison de 31gr,103496 par once, à 52.982 kilo-·ammes, d'or fin, d'une valeur totale de 182.494.000 francs. ı 1902, la production s'est élevée à 2.177.441 onces, auxquelles statistique officielle attribue un titre moyen de 0,859282, cor-spondant à une valeur de 3 L. 13 sh. par once, au lieu du titre 0,90636 et de la valeur de 3 L. 17 sh. par once admis pour ınnée 1901. Exprimée en or fin, cette production représente 871.087 onces ou 58.196 kilogrammes, valant 200.452.000 francs. lle se répartit comme suit, par districts :

PRODUCTION PAR DISTRICT EN KILOGRAMMES D'OR FIN.

		kilogr.	kilogr.
Groupe du Nord.	Kimberley	12	389
	Pilbarra	286	
	West Pilbarra	88	
	Gascoyne	3	
Groupe du Centre.	Peak Hill	875	9.166
	East Murchison	2.458	
	Murchison	5.681	
	Yalgoo	152	
Groupe de l'Est.	Mount Margaret	5.790	48.641
	Coolgardie Nord	5.005	
	Broad Arrow	491	
	Coolgardie Nord-Est	1.458	
	Coolgardie Est (Kalgoorlie)	31.335	
	Coolgardie	2.605	
	Yilgarn	692	
	Dundas	968	
	Phillips River	229	
	Divers	68	
	TOTAL		58.196

Valeur correspondante : 200.452.000 francs.

(*) Voir, pour les années antérieures, *Ann.* 1901, t. XIX, p. 47 ; t. XX, 284, et 1902, t. II, p. 475.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUTRICHE EN 190[illegible]

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	PRIX MOYEN
1° *Mines.*	tonnes	francs	fr. c.
Houille	11.738.840	115.139.435	9,81
Lignite	22.473.509	131.446.939	5,90
Roches asphaltiques	541	40.645	75,18
Minerai de fer	1.963.246	12.129.748	6,18
— de manganèse	7.796	133.698	17,11
— de plomb	16.688	2.881.251	173,57
— de cuivre	7.406	626.017	84,53
— de zinc	36.072	1.822.541	50,50
— d'étain	42	7.903	188,16
— d'or	143	33.405	233,10
— d'argent	21.363	3.840.308	179,76
— de mercure	97.360	2.061.700	21,21
— d'antimoine	126	23.924	189,74
— de bismuth	16	21.000	1.312,50
— de wolfram	45	56.432	1.262,52
— d'urane	48	197.684	4.091,33
Pyrites	4.911	63.562	12,91
Schistes alunifères et vitrioliques	2.551	20.559	8,06
Graphite	29.991	1.909.434	63,63
2° *Usines et Salines.*			
Fonte	1.030.200	84.445.535	81,97
Plomb	10.161	3.817.197	375,69
Litharge	1.317	572.448	434,60
Cuivre	776	1.335.324	1.720,11
Sulfate de cuivre	256	140.315	598,73
Zinc	7.558	3.249.065	429,88
Etain	486	158.884	3.270,01
Mercure	525	2.874.445	5.476,70
Antimoine (cru et régule)	57	39.188	687,51
— (autres produits)	56	15.589	278,38
	kilogr.		
Or	46,56	105.036	2.255,95
Argent	40.204,91	4.100.484	101,99
Sels d'urane	13.463	316.818	23,53
	tonnes		
Sel	333.239	51.913.211	155,78

La valeur totale, en comptant divers produits non inscrits au tableau ci-dessus, s'est élevée à 389.995.568 francs.

(*Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.)

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1901

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux exécutés par M. Coignard, Contrôleur des Mines, sous la ·ection de M. Leprince-Ringuet, Ingénieur des Mines (Extrait).

§ 1. — Combustibles minéraux.

1° *Lignites.*

a. Lignite du Pin (Gard).

b. Lignite des Liquisses près Nant (Aveyron).

	a	*b*
	p. 100	p. 100
Humidité	21,80	4,80
Matières volatiles	34,50	38,70
Cendres	15,60	9,80
Carbone fixe	28,10	44,65
Soufre	»	2,05

2° *Anthracite.* — Anthracite d'Olympie (Gard).

	p. 100
Humidité	1,10
Matières volatiles	5,40
Cendres	12,40
Carbone fixe	81,10
Soufre	»
Pouvoir calorifique	7168

§ 2. — Gaz.

Échantillons d'air provenant des mines désignées ci-dessous tudes du Service des Mines) :

NOM DE LA MINE	DÉSIGNATION DU QUARTIER	ACIDE carbonique p. 100	GRISO[illegible] p. 10[illegible]
Fontanes.	Etage 165. — Travers-bancs vers la vallée	4,80	»
	— 125. — Retour d'air spécial de la couche 1, branche 1.	1,53	»
	— 165. — — — 2, — 2.	1,42	»
	— 165. — — du quartier Nord	1,92	»
	— 205. — Retour spécial de l'étage 300	0,79	»
	Retour d'air général (ventilateur Ser)	0,47	»
	Etage 300. — Avancement Nord de la couche de 10 mètres.	17,00	Néan[illegible]
	— — 1, branche 1.	60,00	11,4[illegible]
	Retour d'air de la couche de 10 mètres	0,90	»
	Retour d'air au ventilateur Ser (après dégagement)	4,00	»
	Puits n° 1 à l'étage 300 (—)	52,50	»
	— 220 (—)	40,00	»
	Retour d'air au ventilateur Ser (—)	2,05	»
	— — (—)	1,10	»
	Puits n° 1 à l'étage 200 (—)	62,50	1,[illegible]
Rochebelle.	Etage Saint-François. — Retour d'air, côté Est de la couche 7	0,43	»
	— — Ouest	0,63	»
	— — de la couche X	0,70	»
	— — — 8	0,95	»
	Retour général au niveau 190. (Remontée Saint-Raby)	0,90	»
Grand'Combe.	Forêt 1. — Retour général	0,16	»
	Pontil 1. — —	0,23	»
	Forêt. — Retour d'air du plan 3, banc supérieur	0,43	»
	Pontil 1. — Retour d'air général	0,16	»
	Abilon. — Retour d'air de la balance	1,08	»
	Retour d'air de Ravin Grand'Combe	0,29	»
	Fontaine 3. — Retour d'air général, plan de sortage	0,14	»
	Retour d'air général du nouvel étage de la Fontaine	0,16	»
	— d'air général de Laval	0,30	»
Portes.	Retour d'air des travaux du puits Central	0,32	»
	— — Sud	0,36	»
Cessous et Comberedonde.	Retour d'air du ventilateur de Rouvière	0,21	»
Saint-Jean de Valériscle.	Retour d'air général	0,20	»
Trélys.	Retour général du puits de l'Arbousset, à 222	0,27	—
	— de Pisani, à l'étage 166	0,54	—
	— de Crouzol, à l'étage 166	0,52	—
	— du quartier Delarbre	1,10	—
	— général du puits Pisani, à 222	0,29	—
	— général	0,25	—
	— général des quartiers de Pisani et Martinet	0,47	—
	Fond d'une descente dans le quartier de Broussous	»	1,44
Molières.	Travers-bancs du 4ᵉ étage	»	1,44
	— —	»	1,56
	— —	»	2,90
	Retour général	0,20	»
Bességes.	Retour général du fond (ventilateur de Bességes)	0,14	»
	— de la couche Saint-Denis (8ᵉ étage)	»	0,45
Créal.	Retour général des couches de Bességes	0,36	»
	— de Créal (ventilateur Guibal)	0,25	»
	— du fond, pied du plan Saint-Jacques	0,09	»
Lalle.	Etage 80. — Retour d'air spécial du lambeau Nord	0,51	»
	— 220. — — de cinq couches	0,23	»
	Retour d'air général	0,25	»
Gagnières.	Retour de l'étage — 400 et du Moulinas à — 310	0,25	»
	Retour des 6ᵉ et 7ᵉ niveaux, puits du Viaduc	0,90	»
	Retour général du faisceau gras	0,29	»
	Montage dans la couche 4, 9ᵉ niveau du puits du Viaduc	»	1,10

§ 3. — Minerais.

1° *Minerais d'antimoine.*

a. Bournonite de Montserou, par Labastide de Sérou (Ariège).

Antimoine	19,10 p. 100
Cuivre	10,01 —
Plomb	29,95 —
Argent	290 gr. à la tonne de minerai

b. Stibine à gangue schisteuse, provenant des mines d'antimoine de Malbosc (Ardèche).

N° 1. — Galerie de la Fermigère.
N° 2. — — de Pratpeillard.
N° 3. — Puits dans la galerie de Pratpeillard.
N° 4. — Triage des anciens remblais.

	1	2	3	4
Antimoine p. 100	21,96	57,74	53,28	23,76
Arsenic —	Néant	Néant	Néant	Néant
Soufre —	9,10	23,25	21,46	9,57

2° *Minerais de cuivre.*

a. Pyrite de cuivre des mines d'Arrigas (Gard).

Cinq échantillons ont donné les teneurs en cuivre suivantes, pour 100 :

29,50 — 29,50 — 27,20 — 19,40 — 24,10.

b. Quatre échantillons provenant des mines de Sirieis (Hérault).

N° 1. — Pyrite de cuivre.
N° 2. — Cuivre gris du filon Saint-Barthélemy n° 1.
N° 3. — — — n° 2.
N° 4. — Cuivre gris du filon Vinas.

	1	2	3	4
Cuivre p. 100	24,80	5,20	0,90	4,98
Antimoine p. 100	»	3,20	0,60	3,05
Argent à la tonne de minerai	25 gr.	730 gr.	140 gr.	710 gr.

c. Pyrite de cuivre du col de Sabaton, vallée d'Aspe (Basses-Pyrénées).

Cuivre	34,24 p. 100
Argent	10 gr. à la tonne de minerai
Fer	29,40 p. 100
Soufre	34,60 —
Résidu insoluble	1,40 —
Antimoine et arsenic	Néant

3° *Minerais de plomb.*

a. Galènes à larges facettes des mines d'Ispagnac (Lozère).

	1	2
Plomb p. 100	72,40	35,20
Argent à la tonne de plomb	701 gr.	660 gr.

b. Galènes provenant de recherches de mines exécutées dans la commune de Saint-Léger-de-Peyre (Lozère).

N° 1. — Galène à petites facettes des galeries du Chambon.

N° 2. — Galènes à larges facettes du quartier de Cibron.

N° 3. — Galène à larges facettes, gangue quartzeuse, prélevée dans le filon suivi par la galerie Chandeloux.

N° 4. — Galène à larges facettes, gangue barytique, prise dans le filon du Bouchet, sur la rive gauche de la Colagne.

	1	2	3	4
Plomb p. 100	50,30	59,20	62,60	26,50
Argent à la tonne de plomb	2kg,150	2kg,365	1kg,677	0kg,795

c. Galène à petites facettes, gangue quartzeuse, des mines de Montolieu (Ariège).

Plomb	29,50 p. 100
Argent à la tonne de plomb	5kg,085

d. Trois échantillons de la mine de Promeyrat (Haute-Loire).

N° 1. — Galène riche.

N° 2. — Galène pauvre.

N° 3. — Argile blanche.

	1	2	3
Plomb p. 100	48,30	5,20	0,25
Argent à la tonne de plomb	4^{kg},345	4^{kg},040	Traces

Minerais de zinc.

Blende provenant de recherches de mines exécutées sur le de Serreyrède, commune de Valleraugue (Gard).

Résidu insoluble	9,00 p. 100
Zinc	41,20 —
Fer	11,20 —
Carbonate de chaux	6,50 —
— magnésie	5,40 —
Soufre	26,80 —
Argent à la tonne de minerai	90 grammes

Blende avec galène et pyrite de fer provenant des recherches ine exécutées à Mallet, commune de Valleraugue (Gard).

Résidu barytique	46,80 p. 100
Cuivre	traces
Plomb	18,20 p. 100
Argent à la tonne de minerai	1^{kg},400
Zinc	11,80 p. 100
Fer	4,25 —
Soufre	13,02 —
Carbonate de chaux	3,30 —
— magnésie	2,20 —

Blende avec galène, des mines de zinc de Montolieu (Ariège).

Zinc	12,20 p. 100
Fer	12,10 —
Plomb	6,50 —
Argent à la tonne de minerai	30 grammes
Soufre	7,80 p. 100

d. Calamines des travaux de Ferrussac, dans la concession des Deux-Jumeaux (Gard).

N° 1. — Moyenne de la calamine à calciner.

N° 2. — Minerai incuit.

	1	2
Zinc p. 100	29,80	11,70

e. Calamines de la Lozère et de l'Hérault.

	Teneur en p. 100
Calamine de Cubiérettes, quartier de Charaou (Lozère)	25,40
— Cubières, — de Neyrac (Lozère)	16,70
— Ganges (Hérault)	12,10

f. Calamines provenant des mines de Saint-André-Lachamp (Ardèche).

	1	2	3	4	5	6
Zinc p. 100	25,10	22,30	19,20	20,20	16,90	10,10
Soufre	0,62	1.02	0,62	0,75	0,41	0,15

g. Dolomies imprégnées de zinc, provenant des mines de Saint-André-Lachamp (Ardèche).

Onze échantillons ont donné les teneurs en zinc suivantes (pour 100) :

9,60 — 6,60 — 6,70 — 12,10 — 0,50 — 9,20
— 8,50 — 6,60 — 6,40 — 0,90 — 19,30.

5° *Minerais de plomb et zinc*. — Échantillons provenant des recherches de plomb et de zinc faites dans les communes du Mas d'Orcières et de Cubières, canton du Bleymard (Lozère).

N° 1. — Galène à larges facettes, gangue quartzeuse et barytique, prélevée en aval d'Orcières sur un filon situé dans les schistes anciens.

N° 2. — Galène semblable à la précédente, prise en amont d'Orcières sur un filon encaissé dans les calcaires.

N° 3. — Galène à larges facettes, avec calamine, du filon-couche n° 2 du Mazel.

	1	2	3
Plomb p. 100	52,10	40,10	10,40
Argent à la tonne de plomb	0kg,610	0kg,525	0kg,310
Zinc p. 100	»	»	25,80

§ 4. — Eaux minérales.

[illegible] Dix échantillons d'eau minérale, dont un, source Madelone, [illegible]venant du Cheylard (Ardèche), et les neuf autres de Vals-les-[illegible]ns (Ardèche).

	Vals-les-Bains				
	Source Lémery	Source Saint-Félicien	Source Neptune	Source Saint-James n° 3	Source Saint-James n° 5
	Par litre				
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Bicarbonate de soude	1,535	2,925	7,110	1,301	1,009
— de potasse	0,140	0,140	0,455	0,112	0,075
— de chaux	0,195	0,367	0,606	0,202	0,144
— de magnésie	0,221	0,349	0,566	0,211	0,106
— de protoxyde de fer	0,022	0,020	0,029	0,008	0,006
Sulfate de soude	0,096	0,050	0,078	0,037	0,069
Chlorure de sodium	0,053	0,091	0,224	0,063	0,074
Acide silicique	0,035	0,021	0,052	0,028	0,014
— carbonique libre	1,608	1,472	1,344	1,635	1,174
Extrait sec à 180°	1,700	2,875	6,500	1,450	1,100
	cent. c.	cent. c.	cent. c.	cent. c.	cent. c.
Titre alcalimétrique en SO^4H^2 normal	28	51	116	24,5	18,5

	Vals-les-Bains				Cheylard
	Source Idéale	Source Gazeuse	Source Henriette	Source Béatrix	Source Madelone
	Par litre				
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Bicarbonate de soude	1,245	2,066	0,675	1,710	0,116
— de potasse	0 094	0,[illegible]68	0,064	0,149	0,027
— de chaux	0 193	0,242	0,181	0,239	0,296
— de magnésie	0 195	[illegible]10	0,167	0,291	0,339
— de protoxyde de fer	0 012	0,016	0,016	0,031	0,008
Sulfate de soude	0 021	0 034	0,021	0,034	0,025
Chlorure de sodium	0,035	0,092	0,066	0,098	0,041
Acide silicique	0,045	0,054	0,043	0,061	0,045
— carbonique libre	1,651	1,630	1,494	1,587	1,466
Extrait sec à 180°	1,340	2,220	0,905	1,895	0,650

b. Trois échantillons d'eau minérale provenant des communes de Malarce et de Thines (Ardèche).

Le dosage de l'acide sulfhydrique a été effectué à la source.

On voit que ces eaux ont une composition identique, sauf pour l'acide sulfhydrique.

	Source du Pape	Source des Martyrs	Source de la Salle
	Par litre.		
	gr.	gr.	gr.
Acide sulfhydrique libre	0,0040	0,0044	0,0047
Carbonate de soude	0,160	0,160	0,160
— potasse	0,021	0,021	0,021
Sulfate de soude	0,064	0,064	0,064
— chaux	0,029	0,029	0,029
Oxyde de fer et alumine	traces	traces	traces
Chlorure de sodium	0,057	0,057	0,057
Acide silicique	0,068	0,068	0,068
Total des éléments fixes	0,399	0,399	0,399
Résidu à 180°	0,401	0,401	0,401
Température de l'eau à la source	14°	12°,5	11°,5

II. — LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES MINES DE SAINT-ÉTIENNE.

Travaux effectués sous la direction de M. ÉTIENNE, Ingénieur des Mines (EXTRAIT).

§ 1. — COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

1° *Lignite*. — Lignites de Cavillargues (Gard).

	1	2	3
Humidité	17,01	18,32	18,27
Matières volatiles	26,45	21,92	34,35
Carbone fixe	43,81	38,83	37,58
Cendres	12,73	20,93	9,71
Coke	56,53	59,76	47,37
Pouvoir calorifique	»	»	6155

2° *Houille.* — Houilles de Sainte-Paule (Rhône).

	1	2	3	4
umidité	22,83	9 25	7,18	6,65
atières volatiles	12,38	19 07	16,64	17,72
rbone fixe	39,54	50 85	50,89	55,79
ndres	25,23	20 80	24,27	19,82
ke	64,77	71 66	75,17	75,62
ufre	0,61	0 86	2,07	4,13
osphore	0,02	0 04	0,02	0,02
uvoir calorifique	4833	6053	5912	6320

3° *Houille.* — Charbons de l'Asie Mineure, bassin d'Héraclée.

	1	2	3	4	5
umidité	1,16	1,48	1,60	0,80	0,75
atières volatiles	31,64	28,87	33,04	28,73	30,60
rbone fixe	60,56	59,41	58,63	64,06	62,50
endres	6,62	10,24	6,72	6,41	6,17
oke	67,19	69,65	65,35	70,47	68,67
ouvoir calorifique	7942	7728	7917	8094	8000

§ 2. — Minerais.

Minerais de fer et de manganèse.

a. Minerais du Calvados.

a. Granite sans enclaves.
b. Granite voisin du contact.
c. Granite riche en enclaves.
d. Granulite pure.
e. Porphyre.
f. Enclave encore visiblement schisteuse.
g. Enclave moyennement feldspathisée.
h. Enclave complètement feldspathisée.
i. Cornéenne du Mont Saint-Gilles (matière organique réductrice).

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
Silice	67,5	67,1	67,3	74,7	66,2	49,3	56,6	59,2	54,2
Alumine	14,5	15,3	15,3	13,2	15,6	27,3	17,1	14,4	24,9
Peroxyde de fer	4,6	3,3	4,8	»	3,9	»	»	4,0	»
Protoxyde de fer	2,6	2,7	2,6	3,5	3,8	11,1	8,4	3,9	11,0
Chaux	1,8	2,3	2,0	1,5	2,2	1,1	3,0	4,5	2,8
Magnésie	1,2	1,9	1,5	0,8	1,4	2,1	4,5	3,8	1,9
Potasse	3,0	2,6	2,24	2,6	2,4	2,6	5,0	6,1	2,8
Soude	4,3	4,3	3,9	3,6	3,9	4,7	4,6	2,3	1,9
Eau	0,5	0,5	0,5	0,3	0,6	1,8	0,9	1,7	1,4

Ces analyses ont été effectuées par la méthode de M. l'Ingénieur en chef des mines Leclère, décrite dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* du 29 novembre 1897.

IV. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. SIMON, Contrôleur des Mines (Extrait).

§ 1. — Combustibles minéraux.

***Lignite*. — Échantillon provenant de la Maison Carrée et remis par M. Lantenois, Ingénieur des Mines.**

Eau hygrométrique	19,51
Matières volatiles	44,47
Carbone fixe	23,00
Cendres	13,02
	100,00
Pouvoir calorifique	4200 calories.

§ 2. — Minerais.

1° *Minerai de fer et manganèse*. — **Échantillon moyen provenant**

mines de Timezrit, près Bougie, prélevé par M. Derion, trôleur des Mines à Sétif.
a été trouvé, p. 100 :

Eau hygrométrique	0,92
Perte au rouge	11,20
Silice	2,87
Fer (métal)	56,70
Manganèse (métal)	1,80
Chaux	traces

° *Minerai de zinc.* — Six échantillons de calamine provenant recherches Pelissard (Oued Rouïna), et remis au laboratoire M. Drot, Contrôleur principal des Mines.
l a été trouvé, p. 100 :

Zinc : 51,2 — 45,9 — 46,3 — 39,7 — 20,6 — 16,5.

° *Minerai de cuivre.* — Deux échantillons de minerai provenat du Fondouck près Alger (recherches Trottier), et remis au oratoire par M. Lantenois, Ingénieur des Mines.
l a été trouvé, p. 100 :

Cuivre : 9,5 — 22,0.

° *Minerai de plomb.* — Échantillon de galène provenant de estro, remis par M. Derion, Contrôleur des Mines.
l a été trouvé :

Plomb	72,6 p. 100
Argent à la tonne de plomb	151 grammes
Argent à la tonne de minerai	110 —

V. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de M. SERGÈRE, Contrôleur des Mines (Extrait).

§ 1. — Minerais.

° *Minerais de zinc.*

. Minerai de zinc de Zarouria près de Souk-Ahras ; échantillons nis par M. Dussert, Ingénieur des Mines.

				p. 100
Échantillon 1 : calamine avec calcaire.			Zinc,	40,16
—	2	—	—	36,56
—	3 A : silicate	—	—	42,45
—	3 B : blende	—	—	50,45
—	4 A : calciné	—	—	42,30

PROVENANCE	NOM DU DÉPOSANT	NATURE DES MINERAIS ET RÉSULTATS
Moggoua, douar Abib, commune mixte de la Séfia.	Mme Gaubert.	Zinc carbonaté ferrugineux, avec mouches de galène. Zinc abondant.
Djebel Chebata, commune mixte de la Séfia.	M. Auguste.	Zinc carbonaté ferrugineux; aspect minéralogique négatif. Zinc abondant.
Douar Bou Hadjar, communes mixtes de La Calle et Souk Ahras.	MM. Baruel et Darget.	Zinc carbonaté avec oxyde de fer. Zinc très abondant.
Djebel Chouchia, commune mixte de Souk Ahras.	M. Grand, Contrôleur des Mines.	Zinc carbonaté, calamine à gangue ferrugineuse et calcaire. Zinc abondant.
Kef Selia, commune mixte de Souk Ahras.	M. Mini.	Divers échantillons d'aspect calaminaire peu denses. Zinc abondant.
Bou Sellah, commune mixte de Fedj M'Zala.	M. Dard, Contrôleur des Mines.	Diverses variétés de calamine, blanche[illegible] grises, gangue calcaire. Zinc abondant.
Ibid.	Idem.	Echantillon grisâtre, mélange de zinc carbonaté et zinc silicaté. Le premier prédomine. Zinc abondant.
Aïn Tebesbes, commune mixte des Ouled Soltan.	M. Moreau.	Zinc carbonaté amorphe, couleur jaune. Zinc abondant.
Douar Ouled Sellem, commune mixte des Ouled Soltan.	M. Benoit, Contrôleur des Mines.	Calamine blanche avec carbonate de chaux. Zinc abondant.
Talkrent, commune mixte des Ouled Soltan.	M. Tisseyre.	Zinc carbonaté ferrugineux. Zinc carbonaté avec calcaire. Zinc abondant.
Hamima Guebala, commune de l'Oued Zenati.	M. Dard, Contrôleur des Mines.	Zinc carbonaté rouge dense en petites zones. Zinc abondant.
Kef Lakmar, Djebel Youcef, arrondissement de Sétif.	M. de Clermont-Tonnerre.	Zinc carbonaté à gangue calcaire, variété blanc jaunâtre en cellules. Zinc abondant.
Hanout el Kébir, Douar Merouana.	M. Ansar Messaoud.	Zinc carbonaté, gangue ferrugineuse. Zinc abondant.
Aïn Talouna.	M. Benoit, Contrôleur des Mines.	Echantillon à aspect de fer oxydé, faible quantité de calcaire. Zinc abondant.
Coudiat el Hass el Hadid.	M. de Saint-Germain.	Zinc carbonaté, gangue ferrugineuse avec faible quantité de calcaire. Zinc abondant.
Près de la station de Laverdure.	MM. Olivier et Garonne.	Zinc silicaté ferrugineux. Zinc très abondant.

° *Minerais de plomb et zinc.* — Gîtes d'Aïn Kechera.

a. Roche encaissante avec plomb : Chabet Bou-Mède.
b. Roche encaissante avec galène : Chabet Sliman.
c. Terres secondes.
d. Terres premières.
e. Blende brûlée.
f. Blende mielleuse.
g. Galène à grains fins.
h. Blende typique du gisement.
i. Galène à grandes facettes.
j. Chabet el Amra.
k. Affleurement de la rivière, mine Suzanne.
l. Minerai moyen.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
ıidité	1.14	1,49	2,24	2,04	1.19	0,96
idu insoluble aux acides	32.41	64,58	35,48	27,86	9,86	0,68
juioxyde de fer et alumine	2.15	6,08	6,70	15,21	3.48	2,06
:	41,56	17.58	29,48	25.39	46.86	65,98
nb	1,59	5,48	8.18	15,80	9,11	0,48
fre total	21.73	4,88	16.54	11.56	27,96	29,09
ux	0,55	0,86	1,45	1,23	1,10	0,44
;nésie	traces	traces	néant	traces	traces	»
rre	néant	néant	néant	traces	0,79	néant
imoine	néant	traces	traces	traces	0,90	néant
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
ent par tonne de minerai	0,085	0.120	0,105	0,110	0.300	0.210

	g	*h*	*i*	*j*	*k*	*l*
nidité	1,24	1.58	»	1,24	1,43	1,68
idu insoluble aux acides	2.04	2,85	3,55	28,45	6.25	6,44
quioxyde de fer et alumine	0,24	0,60	2,45	4,04	16.84	3,94
c	7,00	57,25	9,52	8,21	41,18	45,93
mb	72,46	8,48	78,60	33,48	28.61	15.03
fre total	15,32	29,60	13,48	15,30	26.70	26,44
ux	1,22	0,42	1,11	1,28	1,28	1,18
;nésie	traces	»	traces	traces	traces	traces
vre	traces	néant	traces	8,11	19,79	traces
imoine	»	néant	traces	traces	néant	traces
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
ent par tonne de minerai	0,650	0,325	0,450	0,325	0.400	0,705

PROVENANCE	NOM DU DÉPOSANT	NATURE DES MINERAIS ET RÉSULTATS
Moggoua, douar Abib, commune mixte de la Séfia.	Mme Gaubert.	Zinc carbonaté ferrugineux, avec mouches de galène. Zinc abondant.
Djebel Chebata, commune mixte de la Séfia.	M. Auguste.	Zinc carbonaté ferrugineux; aspect minéralogique négatif. Zinc abondant.
Douar Bou Hadjar, communes mixtes de La Calle et Souk Ahras.	MM. Baruel et Darget.	Zinc carbonaté avec oxyde de fer. Zinc très abondant.
Djebel Chouchia, commune mixte de Souk Ahras.	M. Grand, Contrôleur des Mines.	Zinc carbonaté, calamine à gangue ferrugineuse et calcaire. Zinc abondant.
Kef Selia, commune mixte de Souk Ahras.	M. Mini.	Divers échantillons d'aspect calaminaire, peu denses. Zinc abondant.
Bou Sellah, commune mixte de Fedj M'Zala.	M. Dard, Contrôleur des Mines.	Diverses variétés de calamine, blanche, grises, gangue calcaire. Zinc abondant.
Ibid.	Idem.	Echantillon grisâtre, mélange de zinc carbonaté et zinc silicaté. Le premier prédomine. Zinc abondant.
Aïn Tebesbes, commune mixte des Ouled Soltan.	M. Moreau.	Zinc carbonaté amorphe, couleur jaune. Zinc abondant.
Douar Ouled Sellem, commune mixte des Ouled Soltan.	M. Benoit, Contrôleur des Mines.	Calamine blanche avec carbonate de chaux. Zinc abondant.
Talkrent, commune mixte des Ouled Soltan.	M. Tisseyre.	Zinc carbonaté ferrugineux. Zinc carbonaté avec calcaire. Zinc abondant.
Hamima Guebala, commune de l'Oued Zenati.	M. Dard, Contrôleur des Mines.	Zinc carbonaté rouge dense en petites zones. Zinc abondant.
Kef Lakmar, Djebel Youcef, arrondissement de Sétif.	M. de Clermont-Tonnerre.	Zinc carbonaté à gangue calcaire, variété blanc jaunâtre en cellules. Zinc abondant.
Hanout el Kébir, Douar Merouana.	M. Ansar Messaoud.	Zinc carbonaté, gangue ferrugineuse. Zinc abondant.
Aïn Talouna.	M. Benoit, Contrôleur des Mines.	Echantillon à aspect de fer oxydé, faible quantité de calcaire. Zinc abondant.
Coudiat el Hass el Hadid.	M. de Saint-Germain.	Zinc carbonaté, gangue ferrugineuse à faible quantité de calcaire. Zinc abondant.
Près de la station de Laverdure.	MM. Olivier et Garonne.	Zinc silicaté ferrugineux. Zinc très abondant.

:° *Minerais de plomb et zinc.* — Gites d'Aïn Kechera.

a. Roche encaissante avec plomb: Chabet Bou-Mède.
b. Roche encaissante avec galène: Chabet Sliman.
c. Terres secondes.
d. Terres premières.
e. Blende brûlée.
f. Blende mielleuse.
g. Galène à grains fins.
h. Blende typique du gisement.
i. Galène à grandes facettes.
j. Chabet el Amra.
k. Affleurement de la rivière, mine Suzanne.
l. Minerai moyen.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
nidité	1.14	1.49	2.24	2,04	1.19	0,96
idu insoluble aux acides.	32.41	64,58	35,48	27,86	9,86	0,68
quioxyde de fer et alumine.	2.15	6,08	6,70	15,21	3,48	2.06
c.	41.56	17.58	29,48	25.39	46.86	65,98
mb.	1,59	5,48	8.18	15,80	9,11	0.48
fre total.	21.73	4,88	16,54	11,56	27,96	29.09
.ux.	0,55	0,86	1,45	1.23	1,10	0,44
gnésie	traces	traces	néant	traces	traces	»
vre.	néant	néant	néant	traces	0,79	néant
imoine	néant	traces	traces	traces	0,90	néant
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
ent par tonne de minerai.	0,085	0.120	0,105	0,110	0.300	0.210

	g	*h*	*i*	*j*	*k*	*l*
nidité	1,24	1.58	»	1.24	1,43	1.68
idu insoluble aux acides.	2.04	2,85	3,55	28.45	6.25	6,44
quioxyde de fer et alumine.	0,24	0,60	2,45	4,04	16.84	3,94
c	7,00	57,25	9,52	8,21	41,18	45,93
mb.	72,46	8.48	78,60	33,48	28.61	15.03
.fre total.	15,32	29,60	13,48	15,30	26.70	26,44
ıux.	1,22	0,42	1,11	1,28	1,28	1,18
gnésie	traces	»	traces	traces	traces	traces
vre.	traces	néant	traces	8,11	19,79	traces
imoine	»	néant	traces	traces	néant	traces
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
:ent par tonne de minerai.	0,650	0,325	0,450	0,325	0.400	0,705.

Minerai de cuivre. — Échantillon provenant de Bellaha, route [..]lha à Djidjelli, remis par M. Dard, Contrôleur des Mines.

Cuivre............	24,00 p. 100
Argent...............	9^{kg},200 par tonne de minerai.

§ 2. — Substances diverses.

Boues et sables provenant du lac Tarf, région d'Aïn Beïda; [é]chantillons remis par M. l'Ingénieur des Mines.

Sables. — Partie soluble : 38,78 p. 100 (sable desséché à 100°).
Analyse élémentaire de la partie soluble :

Sesquioxyde de fer et alumine........	»
Chaux..............................	14,10
Magnésie............................	»
Potasse............................	»
Sodium.............................	1,79
Acide sulfurique....................	20,04
Chlore.............................	2,775
Acide carbonique....................	»
Interprétation : SO^4Ca	34,23
NaCl............	4,57

Boues. — Partie soluble : 32,01 p. 100 (desséché à 100°).
Analyse élémentaire :

Sesquioxyde de fer et alumine........	»
Chaux..............................	5,40
Magnésie............................	»
Potasse............................	»
Soude.............................	9,778 (Na : 7,[illegible]54)
Acide sulfurique....................	8,636
Chlore.............................	10,400
Acide carbonique....................	»
Interprétation : SO^4Ca..........	13,11
NaCl..........	17,10
SO^4Na	1,65

VI. — LABORATOIRE D'ORAN.

Travaux de M. PONCELET, Contrôleur des Mines (Extrait).

§ 1. — Minerais.

1° ***Minerais de fer et de manganèse.***

a. Échantillon de fer oligiste, remis par M. Bachet, entrepreneur, comme provenant des environs d'Arzew.

Fer oligiste micacé avec veinules de quartz.

On a dosé :

Silice	4,50
Fer	66,50
Manganèse	faibles traces

b. Deux échantillons de fer oligiste, remis par M. Rodier, de Relizane, comme provenant des régions de Bou Tlélès et Lourmel.

Fer oligiste micacé.

N° 1. — Lieu dit Haouïssy.
N° 2. — Lieu dit Madagh.

On a dosé :

	1	2
Fer	66,56	69,37
Silice	4,20	0,60
Manganèse	Néant	Néant

c. Échantillon d'hématite rouge, remis par M. Giblin, comme provenant de la région de Nemours.

On a dosé :

Silice	9,60
Fer	62,70
Manganèse	0,30
Perte à 100-110°	0,20

d. Échantillon d'hématite provenant de la région de Nemours, remis par M. Ducommun.

Hématite brune manganésifère.

Sur le minerai desséché à 110°, on a dosé :

Silice	1,10
Fer	42,44
Manganèse	5,50
Chaux	6,60

e. Echantillon d'hématite, remis par Mme Vve Delolmo et M. Soler

de Saïda, comme provenant de Franchetti, Djebel Brak [illegible] et Djebel Natzel.

Hématite brune.

On a dosé :

Fer	49,6
Manganèse	fortes traces

f. Échantillons de fer oligiste déposés par M. Rodier, de Relizane, comme provenant du communal de Saint-Cloud.

N° 1. — Fer oligiste siliceux compact.

N° 2. — Fer oligiste compact.

On a dosé :

	1	2
Fer	62,20	69,58
Manganèse	traces	traces
Silice	12,50	1,20

g. Échantillons de fer oligiste déposés par M. Rodier, de Relizane, comme provenant du communal de Kléber.

N° 1. — Fer oligiste mélangé de quartz.

N° 2. — Fer oligiste mêlé d'hématite.

On a dosé :

	1	2
Silice	39,00	11,00
Fer	31,85	49,50
Manganèse	0,70	1,50

h. Deux échantillons remis par Mme Anna Fuentès y Barran[illegible]os, comme provenant de la région de Bou-Sfer.

Mélange de calcaire, de fer carbonaté et d'hématite brune.

On a dosé :

Fer p. 100 : 22,54 — 11,27.

2° *Minerais de cuivre.*

a. Échantillon remis par MM. Salanon et Bertrand, comme provenant de la région de Mers el Kébir.

Mélange de carbonate de chaux et de fer avec mouches de malachite.

dosé :

Cuivre......................	15,6 p. 100

hantillon provenant de Teniet el Endjir, recherches de lier, remis par M. Roux, Contrôleur des Mines.
hes de cuivre carbonaté vert en imprégnations dans du

dosé :

Cuivre......................	9,40 p. 100

chantillon remis par M. Andréoli fils, comme provenant de ion de Tamzourah.
re carbonaté vert et pyrite cuivreuse en mélange dans une le ferrugineuse.
a dosé :

Cuivre........................	22 p. 100.

linerais de plomb.
chantillon de galène remis par M. Jean Martinez, de Saïda, à ii d'une demande de permis de recherches à Oued Zeboudj.
ne mélangée de calcaire dolomitique.
a dosé :

Plomb............................	42,73 p. 100
Argent par tonne de plomb........	112 grammes.

eux échantillons de galène remis par M. Thomas Pérez, de ganem, comme provenant du Djebel Diss.
ne en menus fragments triés.
a dosé :

	1	2
Plomb p. 100................	72,30	67,90
Argent par tonne de plomb....	75 gr.	86 gr.

eux échantillons envoyés par M. Jean Pérez, de Saïda, à i d'une demande de permis de recherches à Saraf, commune de Saïda.
. — Galène disséminée dans une gangue dolomitique.

N° 2. — Mouches de galène et de plomb carbonaté dans une gangue dolomitique argileuse.

On a dosé :

	1	2
Plomb p. 100	40,80	19,20
Argent par tonne de plomb	110 gr.	260 gr.

d. Échantillon remis par M. Contreras Ramon, comme provenant de Tazout.

L'échantillon est en poudre fine, lavée et triée, et composée de galène et gangue dolomitique.

On a dosé :

Plomb p. 100	38,50
Argent par tonne de plomb	1^{kg},290

§ 2. — Substances diverses.

Pétroles de Tilinnanel :

N° 1. — M'Sila, puits n° 1 *bis*.
N° 2. — Medjila, puits n° 3 *bis*.

N° 1. — **Puits n° 1 *bis* de M'Sila.**

Densité du pétrole brut à 24° C.	0,832

En opérant par distillation fractionnée, la distillation commence à 135° C.

De 135° à 250°, huile limpide incolore : $d = 0,770$ à 26° C.

Essence de pétrole	31,93 p. 100

De 250° à 350°, huile ambrée foncée : $d = 0,816$ à 26° C.

Huile à brûler	33,86 p. 100
Résidu pâteux granulé	34,21 —

N° 2. — Puits n° 3 *bis* de Medjila.

Densité du pétrole brut à 26° C.	0,800

En opérant par distillation fractionnée, la distillation commence à 95° C.

De 95° à 195°, huile limpide incolore : $d = 0{,}760$ à 26° C.

Essence de pétrole..........	11,79 p. 100

De 195° à 250°, huile limpide incolore : $d = 0{,}800$ à 26° C.

Huile à brûler..............	21,30 p. 100

De 250° à 300°, huile ambrée : $d = 0{,}826$ à 26° C.

Huile à brûler..............	17,30 p. 100
Résidu pâteux granulé......	19,60 —

BULLETIN

DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR

SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1902

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
14 janv.	Tissage de coton, à Athis (Orne).	Chaudière à foyer intérieur et faisceau tubulaire amovible. Surface de chauffe, 107 mètres carrés; capacité, 11 mètres cubes; timbre, 5 kg. à l'origine; élevé plus tard à 6 kg.	Rupture, sur 13 centimètres de longueur, d'un tube à fumée en laiton de 7 centimètres de diamètre, au voisinage (20 centimètres) de l'extrémité par laquelle les gaz chauds y pénétraient. Ce tube avait au moins 23 ans et peut-être 35 ans de service. L'épaisseur, de 2 millimètres 1/2 dans la partie la plus saine, n'était de 1/2 à 1 millimètre aux bords	Chauffeur grièvement brûlé. (La gravité des conséquences de la rupture a tenu essentiellement à ce que la porte du foyer n'a opposé aucune résistance à l'irruption du flu-	Age ancien d'un tube à fumée en laiton. (*Conf.* Accident du 2 septembre 1901 à Bolbec, et accidents et documents rappelés à l'occasion de l'accident de Bolbec.)

		[illegible] de longueur : [illegible] les ouvriers avaient l'habitude de les mettre bout à bout pour achever le serrage. La pression habituelle était de 2 kg. à 2kg,25.			
10 mars	Fabrique d'huile, à Eppeville (Somme).	Récipient de vapeur, consistant en une bassine à double fond formée par un vase intérieur cylindrique de 1m,20 de diamètre et 60 centimètres de hauteur, ouvert par le haut et environné, sur les côtés et en dessous, d'une enveloppe cylindrique laissant un intervalle de 200 litres dans lequel on envoyait de la vapeur. L'enveloppe en fonte, de 40 millimètres d'épaisseur, mesurait 1m,44 de diamètre; son fond inférieur, en fonte, de 43 millimètres d'épaisseur, était entièrement plat et fixé par une couronne de boulons à une bride qui terminait vers le bas la partie cylindrique. Le double fond recevait de la vapeur d'une chaudière timbrée à 6 kg., sans interposition de soupape ni de détendeur. Primitivement muni d'un tuyau d'évacuation libre, de même diamètre que le tuyau d'amenée (2 centimètres), l'appareil avait été, plus tard, muni par l'usinier d'un purgeur sur le tuyau abducteur.	Rupture en cinq morceaux du fond plat de l'enveloppe; rupture de la bride sur 60 centimètres de longueur.	Quatre ouvriers légèrement blessés.	Imprudence commise par l'usinier qui, modifiant les conditions primitives d'installation et de fonctionnement de l'appareil, l'a exposé à des variations de température et à des pressions que sa matière, sa forme et ses dimensions le disposaient mal à supporter, et cela sans même soumettre ce récipient aux mesures prescrites par le titre V du décret du 30 avril 1880.
18 mars	Fabrique d'indienne, à Darnétal (Seine-Inférieure).	Chaudière horizontale, non tubulaire, à deux bouilleurs. Capacité, 14 mètres cubes ; surface de chauffe, 38 mètres carrés ; timbre, 5 kg.	Déchirure de la tôle de coup de feu du bouilleur de droite, qui s'est ouverte en amande au voisinage de la génératrice inférieure, sur 80 centimètres de longueur avec 15 centimètres de bâillement maximum (Pl. XIV, *fig.* 6 et 7). Pas de traces d'épanchement abondant	Chauffeur légèrement brûlé. Pas de dégâts matériels appréciables.	Abaissement anormal du plan d'eau dans la chaudière. (Cet abaissement aurait été évité si la communication d'eau du tube indicateur avait été maintenue libre par des purges méthodiques et suffisamment fréquentes.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
			d'eau liquide ; conservation à peu près complète de l'épaisseur primitive des tôles ; pas d'incrustations intérieures ; traces d'emboutissage au voisinage des lèvres de la déchirure ; bleuissement très net des bouilleurs, et particulièrement de celui de droite, sur toute leur longueur.		si le sifflet d'alarme de l'indicateur magnétique n'avait pas été paralysé, si le régulateur automatique d'alimentation avait été maintenu en bon état et si le chauffeur avait tenu compte des indications du flotteur magnétique.)
19 mars	Usine génératrice de tramways électriques, à Roanne (Loire).	Chaudière semi-tubulaire (Pl. XIV, *fig.* 8 à 10) composée d'un corps cylindrique de $1^m,55$ de diamètre et $3^m,75$ de longueur, et de deux bouilleurs inférieurs de 70 centimètres de diamètre et $5^m,71$ de longueur. Surface de chauffe, 90 mètres carrés. Surface de grille, 2 mètres carrés. Capacité, 10 mètres cubes. Timbre, 8 kg. L'eau d'alimentation était prise directement à la sortie du condenseur et était chargée d'une forte quantité (160 gr. par mètre cube dans le réfrigérant et 200 gr. dans les bouilleurs) d'huile minérale provenant du graissage de la machine.	Rupture de la partie avant du bouilleur de droite (Pl. XIV, *fig.* 11) qui s'est ouverte, déroulée et séparée du reste, en pleine tôle, à peu près suivant une section droite, à $1^m,50$ de l'extrémité. La partie détachée était divisée par plusieurs ruptures, dont une déchirure longitudinale en pleine tôle, située à peu près suivant la génératrice inférieure. Les fragments furent diversement projetés, pendant que le reste du générateur subissait vers l'arrière une réaction violente qui le culbuta et le projeta à 5 mètres hors de son massif. La tôle du bouilleur rompu présentait, dans la région du coup de feu, une vaste plage marquée de la coloration bleuâtre caractéristique d'une surchauffe : c'est dans cette plage que se trouvait le point d'étoilement commun à la rupture longitudinale et à la rupture transversale.	Chauffeur tué sur le coup.	Surchauffe à laquelle la tôle du bouilleur s'est trouvée soumise par suite de la présence d'un dépôt gras.

					[illegible] malent un ensemble de circonstances qui prêtaient à un danger de cette espèce.)
31 mars	Usine métallurgique, à Pamiers (Ariège).	Chaudière horizontale tubulaire à flamme directe, portant sur elle la machine à vapeur. Surface de chauffe, 23 m². Capacité, 2 m³,187. Timbre primitif, 6 kg. : abaissé ultérieurement à 5 kg.	Un trou de la plaque tubulaire du foyer, mesurant 80 millimètres de diamètre, privé de tube et bouché par un tampon (Pl. XIV, *fig.* 12 et 13), s'est inopinément détamponné.	Chauffeur tué ; un ouvrier grièvement brûlé.	Mode vicieux de tamponnement. La pose d'un tampon ne peut être considérée comme prudente, lorsqu'il s'agit d'obturer la section entière d'un orifice de 80 millimètres de diamètre, privé de tube.
1er avril	Chantiers d'un funiculaire en construction, à la Bourboule (Puy-de-Dôme).	Chaudière locomobile à retour de flamme et foyer amovible, avec foyer intérieur à section ovale. Timbre, 6 kg. (Pl. XIV, *fig.* 14 et 15).	Rupture du foyer, qui s'est déchiré transversalement sur toute sa moitié de gauche, à 10 centimètres en avant de sa plaque de fond, et replié vers l'intérieur en s'écrasant (Pl. XIV, *fig.* 16 à 20). Tandis que la porte du foyer, la grille et la boîte à fumée étaient projetées dans un sens, la locomobile était lancée dans l'autre, allait rebondir à 26 mètres et finalement tombait à 60 mètres de distance de son emplacement primitif. Le foyer était affecté de nombreuses corrosions en cupules, tant extérieures qu'intérieures.	Deux ouvriers grièvement blessés ; un légèrement.	Mauvais état du foyer de la chaudière. (Ce foyer était de forme défectueuse, d'âge ancien, et ne pouvait supporter des amincissements par corrosion comme ceux qui existaient dans l'espèce.)
13 avril	Chemin de fer, à Perrigny (réseau Paris-Lyon-Méditerranée).	Chaudière locomotive.	Rupture, au raboutage côté foyer, d'un tube en laiton rabouté en cuivre ; la rupture s'est produite sur la moitié de la circonférence et a été suivie d'un aplatissement sur 26 centimètres de longueur. L'épaisseur n'était réduite que d'un quart par rapport à l'état de neuf. La porte du foyer, qui était munie d'une fermeture à mentonnet, se trouvait ouverte pour le chargement du feu.	Chauffeur grièvement brûlé.	Cause non précisée.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
29 avril	Atelier de menuiserie, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière verticale à foyer intérieur, dont le corps cylindrique mesurait 1m,20 de diamètre et 2m,50 de hauteur. Surface de chauffe, 4m²,70. Capacité, 1m³,800. Timbre, 4 kg. (Pl. XV, *fig.* 1).	Au cours du fonctionnement normal, le corps cylindrique se déchira longitudinalement et se déroula en se séparant du cadre inférieur et du fond supérieur par deux déchirures circulaires : sur une grande partie de la déchirure inférieure, l'épaisseur de la tôle était réduite par corrosion à moins de 1 millimètre (Pl. XV, *fig.* 2 et 3).	Quatre personnes grièvement blessées.	Mauvais état de la chaudière profondément corrodée au bas de son corps cylindrique.
11 juin	Chemin de fer, sur la ligne de Grenoble à Veynes (réseau Paris-Lyon-Méditerranée).	Chaudière locomotive, dont la plaque de façade arrière avait été changée en 1877.	Un jet de vapeur s'échappa brusquement du côté droit de la façade arrière de l'enveloppe du foyer, par une fissure verticale intéressant le congé du rabattement du pourtour de la tôle de façade, sur 53 centimètres de longueur. Le bâillement fut limité à 1mm,5, grâce à la réaction des deux entretoises voisines.	Mécanicien grièvement brûlé.	Fissure qui s'était progressivement développée sur la face interne du congé d'emboutissage de la tôle de la façade arrière de l'enveloppe du foyer.
12 juin	Chemin de fer, à Marsat [ligne d'intérêt local de Riom à Volvic (Puy-de-Dôme)].	Chaudière locomotive. Timbre, 9 kg. Surface de chauffe, 42m²,50. Le foyer mesurait 1m,09 de longueur moyenne, 1m,15 de hauteur, 74 centimètres de largeur au sommet. Les deux faces latérales et le ciel étaient formés d'une seule tôle de 11 millimètres ; les faces verticales étaient entretoisées avec l'enveloppe par des entretoises perforées de 22 millimètres de diamètre, espacées	Ecrasement du ciel du foyer qui s'est rabattu autour de sa jonction avec la plaque à tubes. Le corps cylindrique et l'enveloppe du foyer se sont entièrement séparés l'un de l'autre et ont été projetés, l'un vers l'avant à 190 mètres, l'autre vers l'arrière par-dessus le train à 57 mètres.	Mécanicien et chauffeur tués.	Diminution de la résistance du foyer.

		Les appareils indicateurs du niveau de l'eau consistaient en un tube de verre et un système de robinets de jauge montés sur une même clarinette, qui ne communiquait avec les tuyaux la reliant à la chaudière que par des tubulures à brides de 2 centimètres de diamètre intérieur ; dans ces conditions, ces appareils n'avaient pas l'indépendance réglementaire (Pl. XV, *fig.* 4 et 5).	bâillement. Les effets dynamiques ont été peu importants (Pl. XV, *fig.* 6 et 7).		
12 juillet	Usine génératrice de tramway électrique, à Pomeys (Rhône).	Chaudière semi-tubulaire à deux bouilleurs. Surface de chauffe, 100^{m2}. (Pl. XV, *fig.* 8 et 9). Timbre, 8 kg. Corps cylindrique de 1^{m},65 de diamètre, traversé par 46 tubes à fumée amovibles de 10 centimètres de diamètre extérieur, système Berendorf.	Départ d'un tube à fumée amovible (Pl. XV, *fig.* 10 et 11). L'emmanchement fuyait ; les deux ouvriers présents avaient enlevé la plaque de garde et s'apprêtaient à frapper sur le tube pour le renfoncer.	Un ouvrier tué, un ouvrier grièvement brûlé.	Imprudence ayant consisté à retirer la plaque de garde en avant d'un tube à fumée amovible, bien que la chaudière fût en pression (Voir circulaire du ministre des travaux publics du 10 août 1903).
13 juillet	Tramways de Saint-Malo à Paramé (Ille-et-Vilaine).	Chaudière locomotive.	Rupture d'un tube à fumée, au moment où le chauffeur venait d'ouvrir la porte du foyer. Tube en laiton, rabouté en cuivre. Le tube s'est rompu un peu en arrière de la brasure du raboutage et sur presque toute la circonférence.	Chauffeur grièvement brûlé ; mécanicien légèrement brûlé.	Cause non précisée.
19 juillet	Battage des grains, à Saint-Hilaire-le-Vouhis (Vendée).	Chaudière locomobile à foyer intérieur vertical et faisceau tubulaire horizontal (type ⊢). L'enveloppe du foyer était cylindrique verticale de 60 centimètres de diamètre. Surface de chauffe, 2^{m2},75. Capacité, 0^{m3},272. Timbre, 7 kg.	Ouverture d'une brèche au bas de l'enveloppe du foyer, suivant deux lignes presque horizontales s'étendant à peu près sur une demi-circonférence de l'enveloppe et tangentes aux ouvertures de nettoyage fermées par des tampons autoclaves. Sur la ligne de déchirure inférieure, l'épaisseur primitive de 6 millimètres était réduite par corrosion intérieure à 1 millimètre (Pl. XV, *fig.* 12 et 13).	Un ouvrier tué, et le cultivateur grièvement brûlé.	Amincissement excessif de la partie basse de l'enveloppe du foyer par les corrosions intérieures.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
25 juillet	Usine de produits chimiques, à Trosly-Breuil (Oise).	Chaudière multitubulaire Niclausse comprenant 198 tubes de 100 millimètres de diamètre extérieur et $2^m,55$ de longueur. Le foyer est muni de trois portes s'ouvrant vers l'intérieur. Capacité, $5^{m3},360$. Surface de chauffe, 176 mètres carrés. Timbre, 12 kg.	Rupture d'un tube vaporisateur de la 2ᵉ rangée à partir du bas, sur 60 centimètres de longueur et 25 centimètres de bâillement maximum, à la partie antérieure et à l'opposé de la soudure.	Chauffeur grièvement brûlé au moment où il ouvrait l'une des portes du foyer avec son crochet-ringard.	Surchauffe locale dont l'origine n'a pas été précisée.
4 août	Battage des grains, à la ferme de Rosette, commune de Gémigny (Loiret).	Chaudière locomobile tubulaire, à foyer intérieur. Surface de chauffe, 11 mètres carrés. Capacité, $0^{m3},816$. Timbre, 7 kg.	Pendant que la machine était arrêtée pour une réparation au mécanisme, l'enveloppe du foyer s'est fragmentée en morceaux nombreux projetés dans quatre directions. La tôle arrière de l'enveloppe du foyer portait à sa base, le long du congé embouti qui la reliait à la plaque formant semelle inférieure, un long sillon de corrosion, à la fois intérieur et extérieur, qui avait réduit l'épaisseur de 10 millimètres à 4, 5 et exceptionnellement 2 millimètres (Pl. XV, *fig.* 14 et 15).	Un ouvrier grièvement blessé.	Mauvais état de la chaudière, affaiblie par des corrosions dans la tôle arrière de l'enveloppe du foyer.
23 août	Battage des grains, à Gabard (Ille-et-Vilaine).	Chaudière locomobile horizontale tubulaire, à foyer intérieur cylindrique et à retour de flamme (par quatre gros tubes de cuivre). Chaudière, moteur et machine à battre montés sur le même chariot (Pl. XV, *fig.* 16 et 17). L'appareil devait dater de trente-cinq ans. Capacité,	Fragmentation du corps cylindrique, qui s'est divisé en huit morceaux : les cassures les plus caractéristiques paraissent être des cassures rayonnantes partant d'un trou d'autoclave placé au bas de la chaudière et une longue cassure longitudinale qui suit une rivure (Pl. XV, *fig.* 18).	Trois personnes tuées ; cinq blessées grièvement ; quatre blessées légèrement.	Mauvais état de l'appareil, d'âge très ancien, dont les tôles étaient, du moins à l'époque de la catastrophe, fragiles, fatiguées et usées.

		deux fonds plats, était traversé de bout en bout par un foyer cylindrique de 77 centimètres de diamètre et était surmonté d'un dôme avec tête en fonte. La chaudière datait de 1875 (Pl. XV, *fig.* 19 et 20).			
8 sept.	Battage des grains, à Lavausseau (Vienne).	Chaudière locomobile en ⊢ comportant 27 tubes à fumée de 2m,60 de longueur, en laiton, sauf un qui était en fer à la suite d'un remplacement. En 1900, toute la tubulure avait été raboutée en cuivre. En août 1902, 20 tubes (dont le tube de fer) avaient été, à la suite de fuites à l'emmanchement, enlevés, puis reposés après adaptation à chacun d'un second rabout en cuivre brasé sur le premier. Timbre, 6 kg.	Décollement de la brasure de cuivre sur cuivre faite sur le tube en fer; le deuxième rabout de cuivre resta emmanché dans la plaque tubulaire du foyer; le tube portant le premier rabout glissa dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée, dont la porte était ouverte, et fut projeté au dehors. La porte du foyer s'ouvrit.	Un ouvrier grièvement brûlé. (L'accident a dû la gravité de ses conséquences au mauvais état du loquetage de la porte du foyer.)	Mauvaise exécution de la brasure du rabout de cuivre, insuffisante fixation du tube dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée et différences de dilatation qui se produisaient entre le tube en fer et le reste de la tubulure.
15 sept.	Tissage de coton, à la Petite-Raon (Vosges).	Tambour sécheur constitué par un cylindre de 2 mètres de diamètre et 1m,83 de longueur et deux fonds plats réunis par des tirants. La paroi cylindrique était formée de deux tôles de cuivre de 2mm,25 d'épaisseur, brasées l'une à l'autre, suivant une ligne à redans avec recouvrement de 3 centimètres, le long de deux génératrices opposées; elle était assemblée par rivure et frettage sur des cornières rivées au pourtour des fonds. Timbre, 2kg,5. Capacité, 5m3,749. Alimenté par des chaudières timbrées à 7 kg. avec interposition de détendeur, de soupape et de purgeur automatique.	Déchirure à peu près rectiligne le long d'une soudure sur toute la longueur du cylindre; développement à la faveur d'un cisaillement le long des frettes.	Deux ouvriers légèrement blessés.	Faible épaisseur de la tôle de cuivre employée et exécution défectueuse de la brasure. (L'accident avait été précédé et préparé par le développement, consécutif à ces défauts originels, de fissures partielles, qui n'avaient été l'objet que de réparations insuffisantes.)
29 sept.	Scierie mécanique,	Chaudière horizontale, non tubulaire,	Soulèvement brusque d'une soupape	Un ouvrier tué.	Crachement d'une soupape de

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
	à Essoyes (Aube).	à deux bouilleurs inférieurs. Capacité, $6^{m3},180$. Surface de chauffe, $32^{m2},20$. Timbre, 6 kg.	de sûreté, alors qu'un ouvrier s'était rendu sur le massif de la chaudière.		sûreté, dans des circonstances non précisées.
14 oct.	Battage des grains, à Morzine (Haute-Savoie).	Chaudière locomobile à foyer intérieur et faisceau tubulaire horizontal à flamme directe. Surface de chauffe, $4^{m2},50$. Capacité, $0^{m3},280$. Timbre, $6^{kg},5$. Construite en 1874. L'enveloppe du foyer avait une section horizontale en forme de D (Pl. XVI, *fig.* 1 à 4). La qualité originelle des tôles est incertaine ; la chaudière avait, en tout cas, été affaiblie, au cours de son long service, par des corrosions et des détériorations.	Division du corps cylindrique et de l'enveloppe du foyer en un grand nombre de débris (Pl. XVI, *fig.* 5 et 6).	Quatre enfants tués ; trois personnes blessées grièvement et une légèrement.	Aigreur et vétusté du corps de chaudière.
16 oct.	Tissage de coton, à Lillebonne (Seine-Inférieure).	Tambour d'encolleuse de 2 mètres de diamètre et $1^{m},43$ de longueur. Volume $4^{m3},5$. Il se composait d'une virole en cuivre (épaisseur maximum, $2^{mm},8$), soudée sur elle-même le long d'une génératrice, suivant une ligne à redans, et comprise entre deux plateaux en fer reliés par des tirants intérieurs. Timbre, 2 kg. L'appareil, qui recevait la vapeur de chaudières timbrées à $5^{kg},5$ ou 6 kg., n'était muni que d'un détendeur et non de la soupape de sûreté réglementaire.	Ouverture en grand de la virole en cuivre à la faveur d'une déchirure longitudinale voisine de la brasure et de deux ruptures circulaires au ras des plateaux terminaux.	Un ouvrier grièvement blessé. Une ouvrière légèrement brûlée.	Virole de cuivre d'âge ancien (27 ans), trop mince eu égard au timbre de l'appareil et exposée à des excès de pression.
29 oct.	Paquebot à vapeur, [illegible]	Chaudière Belleville.	L'un des fonds de l'épurateur s'est [illegible]	Cinq chauffeurs [illegible]	[illegible]

					d'avarie.
29 oct.	Usine de construction de machines, à Anzin (Nord).	Chaudière semi-tubulaire à deux bouilleurs. Le corps cylindrique mesurait 95 centimètres de diamètre et $3^m,50$ de longueur ; les bouilleurs, 55 centimètres de diamètre et $3^m,90$ de longueur. Capacité, $3^{m3},800$. Surface de chauffe, 40^{m2}. Timbre, 6 kg.	Ouverture du bouilleur de gauche sur $1^m,40$ de longueur avec bâillement maximum de 56 centimètres, supérieur au diamètre du bouilleur.	Dégâts purement matériels et peu importants.	Cause non précisée.
3 nov.	Carrière d'ardoises, à Pierric (Loire-Inférieure).	Chaudière horizontale, à foyer intérieur et tubes de retour de flamme formant un ensemble amovible (Pl. XVI, *fig.* 7 à 9). Capacité, $0^{m3},750$. Surface de chauffe, 12^{m2}. Timbre, 7 kg. Le corps cylindrique (calandre) mesurait 82 centimètres de diamètre et $3^m,25$ de longueur. L'eau d'alimentation était acide.	Ouverture longitudinale et fragmentation du corps cylindrique (calandre) (Pl. XVI, *fig.* 10 à 18).	Chauffeur tué ; mécanicien grièvement blessé.	Corrosion intérieure et usure du corps cylindrique d'âge ancien et inconnu.
25 nov.	Distillerie, à Quesnoy-sur-Deûle (Nord).	Chaudière à deux bouilleurs, non tubulaire. Capacité, $17^{m3},7$. Surface de chauffe, 57^{m2}. Timbre, 5 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur.	Large ouverture au coup de feu du bouilleur de gauche, suivant deux lignes de cassures principales de 2 mètres de longueur réunies vers l'avant, tout près de la tête en fonte, par une cassure transversale irrégulière (Pl. XVI, *fig.* 19 à 21).	Dégâts purement matériels.	Manque d'eau résultant du mauvais état de fonctionnement des appareils indicateurs du niveau de l'eau.
29 nov.	Filature de soie, à Sumène (Gard).	Chaudière formée d'un simple corps cylindrique horizontal avec fond hémisphérique à l'arrière et fond plat à l'avant ; capacité, 2 mètres cubes ; surface de chauffe, $6^{m2},70$, Timbre, $1^{kg},25$. Le débouché du tuyau d'alimentation était établi normalement et à faible distance d'une tôle chauffée extérieurement (Pl. XVI, *fig.* 22).	Ouverture rectangulaire, à la partie inférieure arrière, de 135 millimètres sur 115 millimètres. La chaudière, laissée le soir, feu couvert et registre fermé, porte du foyer ouverte et niveau de l'eau relevé au-dessus de la hauteur normale, fut trouvée, le lendemain matin, vide et sans pression.	Néant.	Corrosion de la tôle de la chaudière en face du débouché du tuyau d'alimentation.
3 déc.	Fabrique de colles et d'engrais, à	Récipient cylindrique vertical en tôle de fer, de $1^m,30$ de diamètre et $1^m,80$	Projection du fond supérieur (à la faveur d'une rupture circulaire située,	Dégâts purement matériels.	Affaiblissement par corrosion intérieure.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
	Saint-Amand-Montrond (Cher).	de hauteur, avec deux fonds bombés (Pl. XVI, *fig.* 23 à 25).	sur un peu plus de la moitié de la circonférence, dans la tôle cylindrique) et ouverture de la paroi cylindrique sur la majeure partie de sa hauteur (à la faveur d'une déchirure verticale le long d'une rivure). L'épaisseur de la tôle, de 11 millimètres à l'origine, était réduite à $1^{mm},5$ le long des lignes de rupture (Pl. XVI, *fig.* 26 et 27).		
10 déc.	Buanderie, à Rueil (Seine-et-Oise).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs, non tubulaire, enterrée; capacité, $4^{m3},360$; surface de chauffe, 19 mètres carrés; timbre, 6 kg.	Ouverture trapézoïdale de la tôle de coup de feu du bouilleur de droite, avec rabattement extérieur à 90° autour de la grande base du trapèze ($1^{m},10$).	Chauffeur grièvement brûlé. Dégâts matériels peu importants.	Surchauffe résultant d'un manque d'eau dont les circonstances originelles n'ont pu être précisées par l'enquête.
13 déc.	Forge à Indre (Loire-Inférieure).	Chaudière horizontale à deux bouilleurs; capacité, $12^{m3},5$; surface de chauffe, 34 mètres carrés; timbre, 4 kg. Les appareils indicateurs du niveau de l'eau étaient un tube de verre et un flotteur.	Déchirure de la tôle de coup de feu du bouilleur de gauche, suivant un rectangle dont le plus long côté était de 1 mètre environ; bâillement maximum, $0^{m},60$.	Trois ouvriers légèrement blessés.	Manque d'eau dont le mauvais état des appareils indicateurs de niveau a permis la production.
29 déc.	Savonnerie, à Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière cylindrique horizontale à deux bouilleurs; capacité, $12^{m3},5$; surface de chauffe, 45 mètres carrés; timbre, 5 kg.	Déchirure de la virole de coup de feu du bouilleur de droite, depuis la tête en fonte jusqu'au premier cuissard; la partie supérieure de la virole se développa largement vers le haut. La chaudière fut soulevée de l'avant, puis retomba sur le même emplacement sans se fragmenter.	Contremaître tué; trois ouvriers grièvement brûlés. Le fourneau a été entièrement démoli et la toiture du local fortement en-[illegible]	Coup de feu résultant de la présence dans les bouilleurs d'incrustations salines et savonneuses, à la formation desquelles exposait gravement l'emploi des eaux de retour [illegible]

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

DÉSIGNATION		NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
. — Par nature d'établissements.				
arrières et annexes.	Mine de fer	1	1	»
	Carrière d'ardoises	1	1	1
es métallurgiques.	Forges	2	1	1
	Construction de machines	1	»	»
ture	Battage des grains	5	8	11
	Distillerie	1	»	»
es alimentaires	Minoterie	1	1	»
es chimiques	Usine de produits chimiques	1	»	1
	Fabrique de pansements antiseptiques	1	»	»
	Fabrique d'huile	1	»	»
	Savonnerie	1	1	3
	Fabrique de colles et d'engrais	1	»	»
t vêtements	Tissages	3	»	2
	Filature	1	»	»
	Fabrique d'indienne	1	»	»
ts, entreprises de c et diverses	Construction d'un funiculaire	1	»	2
	Menuiserie	1	»	4
	Scierie mécanique	1	1	»
	Blanchisseries	2	»	2
de fer et tram-	Locomotives affectées à l'exploitation	4	2	3
	Usines génératrices d'énergie	2	2	1
à vapeur		1	5	1
TOTAUX		34	23	32
II. — Par espèce d'appareils.				
udières non tubulaires :				
extérieur, horizontales		8	3	4
intérieur, horizontale		1	1	»
intérieur, verticale		1	»	4
udières à tubes de fumée :				
extérieur, semi-tubulaires		3	2	1
intérieur	à flamme directe	9	8	10
	à retour de flamme	4	4	9
udières à tubes d'eau		3	5	3
pients		5	»	1
TOTAUX		34	23	32

ant eu plus de vingt jours d'incapacité de travail. Pour les blessures moins voir le bulletin détaillé qui mentionne tous les blessés signalés par e administrative.

III. — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs.

1° *Conditions défectueuses d'établissement :*		
Insuffisante fixation d'un tube à fumée dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée	1	
Différences de dilatation entre un tube à fumée en fer et les autres tubes, tous en laiton	1	
Insuffisance de nombre et de diamètre des boulons de fixation d'un couvercle de récipient	1	
Insuffisance d'épaisseur de la tôle de cuivre d'un récipient	2	
Défectuosité de brasure de la tôle de cuivre d'un récipient	1	
2° *Conditions défectueuses d'entretien :*		
Corrosion ou vétusté de tôles de chaudières	11	
Usure d'un tube à fumée en laiton	1	
Mauvaise exécution de la brasure d'un rabout de cuivre sur un tube à fumée.	1	
Développement de criques au pourtour du fond plat d'un épurateur de chaudière à tubes d'eau	1	17
Usure d'un récipient en cuivre	[illegible]	
Corrosion d'un récipient en fer	[illegible]	
Modification des conditions primitives d'installation et de fonctionnement d'un récipient	[illegible]	
3° *Mauvais emploi des appareils :*		
Surchauffe — par manque d'eau	5	
Surchauffe — par dépôts gras ou salins	2	
Surchauffe — par causes non précisées	1	
Mode vicieux de tamponnement d'une plaque tubulaire	1	11
Enlèvement imprudent de la plaque de garde en avant d'un tube à fumée amovible sur une chaudière en pression	1	
Serrage exagéré des boulons de fixation d'un couvercle de récipient	1	
4° *Causes non précisées :*		
Ouverture d'un bouilleur de chaudière semi-tubulaire	1	
Crachement de soupapes de sûreté	2	5
Ruptures de tubes à fumée	2	
Total		39

Nota. — On trouve 39 causes pour 34 accidents, parce que l'accident a été porté comme dû :

a) A 2 causes dans 3 cas, savoir :

1° Insuffisance de nombre et de diamètre et serrage exagéré des boulons de fixation d'un couvercle de récipient (28 janvier) ;

2° Insuffisance d'épaisseur et défectuosité de brasure de la tôle de cuivre d'un récipient (15 septembre) ;

3° Insuffisance d'épaisseur de la tôle de cuivre d'un récipient et usure de l'appareil (16 octobre) ;

b) A 3 causes dans 1 cas, savoir :

Mauvaise exécution de la brasure d'un rabout de cuivre de tube à fumée, insuffisante fixation du tube dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée et différences de dilatation entre un tube à fumée en fer et les autres tubes, tous en laiton (8 septembre).

NOTICE

SUR

ÉDOUARD CUMENGE

INGÉNIEUR EN CHEF HONORAIRE DES MINES

Par M. L. De LAUNAY, Ingénieur en Chef des Mines.

louard Cumenge, Ingénieur en chef des Mines, décédé
ıris le 20 juillet 1902, avait quitté le Corps des Mines
is 1852, et sa carrière administrative a été courte;
les travaux d'une vie très active et très laborieuse
été, pour la plupart, consacrés à l'examen ou à la
en valeur des gisements miniers, c'est-à-dire à des
tions intéressant directement l'art des mines; il l'a
sans jamais négliger le côté scientifique et théorique
recherches, auxquelles il apportait, d'autre part, une
de compétence pratique, et, dans les dernières années
a vie, il avait tenu à resserrer encore les liens, qui
ient toujours attaché à l'École des Mines, en offrant
élèves les plus méritants des bourses de voyages,
nées à leur permettre un voyage en Amérique, com-
ent, selon lui, particulièrement utile de leurs études.
qu'il fût à peu près insaisissable à Paris, étant,
ré son âge avancé, toujours occupé de quelque expé-
n lointaine, prêt à passer l'Atlantique ou rentrant d'une
rsée, sa physionomie originale, aux yeux vifs, à la
pleins de finesse et rêveurs, sa grande barbe blanche
ventail, qui lui prêtait un air d'exotisme, étaient
ières aux jeunes ingénieurs, toujours accueillis par
vec la plus aimable sympathie. Ceux, et ils sont

nombreux, qui lui gardent un souvenir reconnaissant, auront plaisir à trouver ici, rapidement retracés, les traits principaux de sa vie.

Édouard Cumenge était né à Castres (Tarn), le 16 avril 1828. Passionné dès son enfance pour les voyages, il songea d'abord au moyen le plus naturel de satisfaire ce goût dominant, auquel sa carrière d'ingénieur explorateur devait donner plus tard des facilités de réalisation si complètes. Il se prépara à l'École Navale et y fut reçu dans un bon rang, avec une dispense d'âge, à quatorze ans. Ses parents ayant obtenu de lui qu'il donnât sa démission, il passa du lycée de Castres à Paris et entra à l'École Polytechnique, le 1er novembre 1845. Il en sortit dans les premiers et choisit le Corps des Mines, toujours particulièrement désiré par ceux des polytechniciens, que séduisent, en dehors de toute autre considération, l'initiative précoce, les explorations de pays lointains et les libres recherches scientifiques.

Le temps qu'il passa à l'École des Mines correspond à une époque troublée de notre histoire. Il venait d'y entrer, quand éclata la Révolution de 1848. Cumenge prit part comme sergent à la défense de l'Hôtel de Ville. Sorti de l'Ecole le premier, avant son ami Parran dont la mort devait suivre de si près la sienne, il fut, comme ingénieur ordinaire, attaché au Bureau d'Essais de l'École des Mines, le 28 janvier 1851. Dès l'année suivante, le 11 mars 1852, il se faisait mettre en congé illimité, et c'est dans cette situation qu'il a continué toute sa carrière.

Son mariage avec la fille d'un grand industriel de Paris, M. Guibal, un des promoteurs de l'industrie du caoutchouc, avait amené son entrée dans l'industrie de son beau-père ; il y resta jusqu'en 1873, et c'est à ce moment seulement, c'est-à-dire à quarante-cinq ans, que, s'étant trouvé libre par suite de nouveaux arrange-

ents de famille, il reprit activement les études minières, xquelles il n'avait jamais cessé de s'intéresser de loin.

En qualité d'ingénieur-conseil, il fit alors une série de yages dans les pays les plus divers : en Espagne, en alie, en Grèce, au Vénézuéla, en Colombie, aux États-nis, au Mexique, etc. Beaucoup de ces voyages furent its avec Ed. Fuchs, en collaboration duquel il avait ntrepris un grand ouvrage sur l'or.

Son activité physique était restée telle jusque dans la ieillesse qu'on le vit encore, en 1897, aller au Transvaal avec l'intention d'y entreprendre une étude de mines, arriver au moment où le trop fameux raid Jameson, qui amena l'incarcération momentanée des principaux directeurs de Mines, rendait tout examen sérieux impossible, le reconnaître aussitôt avec un sens pratique et une décision qu'appréciaient en lui les Américains et revenir en Europe par le bateau suivant.

Parmi les publications scientifiques de cette période de sa vie, que l'on trouvera énumérées plus loin, quelques-unes sont relatives à de nouvelles espèces minérales qu'il avait rencontrées dans les gisements visités : un sulfo-antimoniure de cuivre, la Guejarite, trouvé dans le district de Guejar de la Sierra Nevada ; la Boléite et la Cumengite du Boleo, étudiées sur ses échantillons par Mallard ; un minerai d'urane, la Carnotite, venant de Montrose (Colorado), dont l'examen fut fait par Friedel (*).

Des mémoires plus importants furent consacrés à trois gisements qu'il avait spécialement étudiés : l'amas cuivreux de Rio-Tinto, les bitumes de la Trinidad et les gîtes cuivreux du Boleo en Basse-Californie.

Son mémoire sur la Trinidad forme une monographie complète de cette île curieuse et de son industrie ; il y

(*) Ce vanadate d'urane contenait un peu de métaux radiants et était accompagné de chessylite.

décrivait spécialement, en dehors du gisement classique de la Braie, le bitume assez particulier de Guaracaro, qu'il assimilait au bitume de Judée.

L'entreprise du Boleo fut une de celles qui absorbèrent le plus longtemps son attention et auxquelles il porta le plus d'intérêt. A la suite d'un voyage exécuté avec Ed. Fuchs, il avait été un de ses fondateurs et, après quelques difficultés au début, il eut la joie de voir son brillant succès; il y retournait souvent et, même dans ses dernières années, atteint de la cataracte, il fit encore la traversée de l'Atlantique plusieurs fois pour s'y rendre.

Également, dans la métallurgie du cuivre, il avait réalisé un progrès industriel en introduisant à l'usine de produits chimiques de l'Estaque, près Marseille, dont il était administrateur, le traitement par lixiviation des minerais de Rio-Tinto.

Mais, parmi les questions de géologie théorique, celles qui l'intéressaient le plus étaient assurément celles qui concernaient l'or. Il avait conçu le plan d'un ouvrage monumental consacré à ce métal : aidé par de fidèles collaborateurs, il put en faire paraître quelques fascicules sans voir son achèvement complet. Celui sur la minéralogie de l'or montre le luxe de détails, dans lequel il désirait entrer.

Il avait, pour étudier ces questions, installé, dans sa propriété du Vésinet, un petit laboratoire, où il expérimentait souvent dans ses heures de loisir. Ses recherches sur les verres à base d'or, celles sur les aurosilicates, qu'il considérait comme formant le ciment des poudingues du Witwatersrand, ont fait l'objet de communications à l'Académie des Sciences.

Ayant vu et suivi un grand nombre d'exploitations aurifères, il était à même de traiter la géogénie de l'or avec une compétence spéciale et entassait, à ce sujet, les documents dans ses voyages. La dernière affaire qu'il ait

créée, celle des placers hydrauliques de Junction City, qui lui donna de grandes préoccupations et beaucoup de déboires, était une affaire de mines d'or.

Ed. Cumenge n'était pas seulement un ingénieur de premier ordre et un savant, et ce serait en tracer un portrait fort infidèle et bien banalisé que d'arrêter là cette étude. Tous ceux qui l'ont connu se rappellent sa vivacité méridionale, le langage coloré, parfois touchant au lyrisme, dans lequel il aimait à conter les aventures de ses voyages lointains, à en retracer les images, la verve souriante et gauloise, qui survivait chez lui aux tristesses, aux douleurs de la vie, qui se mêlait, sans les altérer, avec le sérieux des pensées, avec la fermeté des croyances austères, avec l'espoir fréquemment exprimé d'une réunion dans l'au-delà aux êtres chers qu'il avait perdus.

Il offrait là un contraste, qui n'est pas exceptionnel dans le protestantisme du Midi et que les péripéties diverses de son existence auront encore accentué.

Le goût des voyages lointains, celui de cette libre vie, parfois aventureuse, souvent pénible, qui entraîne l'explorateur de gisements miniers, suivant le hasard des circonstances, d'un bout du monde à l'autre, comportent assez naturellement l'amour de la nature, le sentiment du pittoresque, la tendance à l'observation des mœurs, parfois même quelque penchant à la réflexion solitaire ou à la rêverie. Pendant les longues heures des traversées, pendant les chevauchées à travers la montagne ou le désert, l'esprit travaille sur lui-même et cherche à donner une forme plastique à ses pensées. Comme son ami et compagnon Ed. Fuchs, avec lequel il présentait tant de points communs, Cumenge se plaisait à mettre en vers les bonnes plaisanteries narquoises, les malices aimables, ou parfois les pensées voilées de mélancolie, que lui suggérait la fortune du voyage. Il écrivait, tantôt en français, tantôt

dans la langue paysanne du Tarn, qu'il parlait volontiers, et s'attachait à fixer au moment où elle va disparaître. Il me semble que ses poésies patoises, les « Répapiatés d'un Biel d'al païs de Lengo d'Oc », celle sur le vieux Castres, « lou biel Castros », par exemple, ont une verdeur et une saveur toutes particulières. Ces vieilles langues locales et populaires, qui sont, en réalité, les ancêtres de la nôtre, qui ont formé les transitions spontanées entre le latin et le français, conviennent particulièrement bien à la traduction de sentiments simples, sans apprêt, sans affectation de technique savante et de métier littéraire.

J'ai fait allusion plus haut aux profondes douleurs qui affligèrent cet homme de bien. La perte de sa femme et de ses deux enfants l'avait cruellement éprouvé. Puis la cécité vint paralyser son activité, jusque-là infatigable. Mais il n'était pas de ceux, dont la recherche inquiète et douloureuse s'épuise à chercher le sens de la vie et finit par mettre en doute la vertu même de la conscience morale ou du travail ; il possédait une foi tranquille dans quelques principes simples et consacrés par le temps, qui lui servaient de soutien. C'est ainsi qu'il a pu arriver au but sans avoir faibli, ayant essayé d'apprendre et de progresser jusqu'au dernier jour. Suivant le précepte, qui, s'il ne fait pas le bonheur, assure au moins l'oubli de la trop vive souffrance, il a passé en travaillant : *pertransiit laborando.*

BIBLIOGRAPHIE DES PRINCIPALES PUBLICATIONS DE E. CUMENGE.

1852. — Note relative à l'emploi de la vapeur d'eau dans certaines opérations métallurgiques.

1879. — Note sur l'état dans lequel se trouvent les métaux précieux dans quelques-unes de leurs combinaisons : minerais, roches, produits (en collaboration avec M. Edm. Fuchs) (*C. R.*, t. LXXXVIII, p. 587).

1879. — Note sur une nouvelle espèce minérale découverte dans le district de Guejar, Sierra-Nevada (Andalousie) (*Bul. Soc. Min.*, 1879, n° 7).

1882. — Etude sur les gisements de charbon et de bitume de la Trinidad (*Ann. d. Mines*, juillet 1882, p. 137).

1883. — Note sur Rio-Tinto (chez Chaix, in-4°).

1885. — Etude sur le district cuprifère du Boleo (Basse-Californie) (chez Chaix, in-4°).

1889. — Exploitation et traitement des minerais aurifères. — Traitement des minerais auro-argentifères. — L'or dans le laboratoire (avec la collab. de MM. Fuchs, Robellaz, Laforgue, Saladin) (3 vol. chez Dunod, *Encyclopédie chimique*).

1891. — Note sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite (par Mallard et Cumenge) (*C. R.*, t. CXIII, p. 519, et *Bul. Soc. Min.*, t. XIV, n° 8).

1893. — Note sur une espèce minérale, nouvelle découverte dans le gisement du Boleo (Basse-Californie, Mexique) (*C. R.*, t. CXVI, p. 898).

1893. — Note sur deux espèces minérales nouvelles, la Boléite et la Cumengite (chez Lahure, 9, rue de Fleurus).

1896. — Reproduction artificielle de conglomérats aurifères (*C. R. de la Soc. Ind. Min.*, 18 avril 1896, p. 57 à 59).

1896. — Sur un mode de formation hypothétique des conglomérats aurifères du Transvaal (*C. R.*, t. CXXII, p. 346).

1898. — L'or dans la nature (par E. Cumenge et F. Robellaz) (1 vol. chez Dunod) (1er fascicule de 106 p.).

1899. — Sur un nouveau minerai d'urane, la Carnotite (par C. Friedel et E. Cumenge) (*C. R.*, t. CXXVIII, p. 532, et *Bull. Soc. Min.*, fév. 1899, p. 26 à 29).

Notes diverses sur l'industrie du cuivre dans le Montana, sur l'Anaconda, Boston, Butte, Parrot, Mountain Mines Ld, etc.

RECHERCHES SUR LA COMPARAISON

ENTRE LES

CHAUDIÈRES A FOYERS INTÉRIEURS

ET

LES CHAUDIÈRES A BOUILLEURS
AU POINT DE VUE DE LA SÉCURITÉ

Par M. COMPÈRE, Ingénieur-Directeur de l'Association parisienne
des propriétaires d'appareils à vapeur,
Membre de la Commission centrale des machines à vapeur.

Dans les notes que j'ai présentées à la Société des Ingénieurs civils de France sur les chaudières et les machines aux Expositions de Paris en 1900 et de Düsseldorf en 1902, j'ai fait ressortir l'opposition entre ce que j'ai appelé les chaudières françaises et les chaudières étrangères, les premières étant plutôt du type à foyer extérieur avec ou sans bouilleurs, et les autres du type à foyer intérieur. En particulier, en ce qui concerne l'Allemagne, le type à deux foyers intérieurs avec corps supérieur tubulaire, dit *Tischbein*, tend de plus en plus à se répandre.

Il m'a paru intéressant de rechercher, d'après les statistiques, si ce développement d'un type bien défini tendait à augmenter le coefficient de sécurité dans l'emploi des appareils à vapeur ; les statistiques allemandes se prêtent facilement à de telles recherches, car elles sont très bien établies.

Tout d'abord, le tableau I, limité à la Prusse seule-

ment et donnant la répartition des chaudières dans ce pays en 1900, suivant leur âge et leur type, permet de suivre ce développement de l'emploi de chaudières à foyer intérieur; ce tableau a été reproduit dans ma *Note sur les chaudières et les machines à l'Exposition de Düsseldorf*, et elle est extraite du journal *Mittheilungen aus der Praxis des Dampfkessel und Dampfmaschinen Betriebes, Organ des Central-Verbandes der preussischen Dampfkessel-Ueberwachungs-Vereins* 20 février 1901.

D'après ce tableau, la Prusse ne possédait en 1900 que 5.452 chaudières à foyer extérieur, alors qu'elle en avait 32.570 du type à foyer intérieur, et, dans ce dernier nombre, les chaudières montées dans les dix dernières années représentent à peu près la moitié du nombre des chaudières existantes.

A défaut de statistique analogue pour les autres pays, on peut admettre que la répartition des chaudières en Allemagne doit suivre à peu près celle de la Prusse.

D'un autre côté, les explosions de chaudières en Allemagne sont publiées pour tout l'empire, chaque année, dans la brochure : *Die Dampfkessel-Explosionen im Deutschen Reiche*.

J'ai repris cette publication depuis 1879, en classant les explosions d'après le type des chaudières ; le tableau II reproduit cette répartition des accidents dans l'Empire allemand; les appareils sont classés comme il suit : 1° à foyer extérieur ; 2° à foyer intérieur ; 3° cylindrique vertical simple ; 4° à foyer intérieur avec tubes de fumée genre marine, locomobile et type vertical ; 5° en chaudières à tubes d'eau. C'est la comparaison des deux premières classes qui fera spécialement l'objet de cette étude.

Les chaudières à foyer extérieur sont, soit à un seul cylindre, soit avec un ou deux bouilleurs, soit à tubes de fumée.

Les chaudières à foyer intérieur sont à un ou deux

foyers avec ou sans tubes Galloway, et parfois avec corps supérieur contenant des tubes à fumée.

De 1879 à 1902, on constate, pour les chaudières à foyer extérieur, 122 accidents ayant entraîné la mort de 111 personnes, et, pour les chaudières à foyer intérieur, 127 accidents avec 66 morts; dans cette étude, je n'ai pris que les chiffres des morts, qui sont forcément exacts et qui donnent à la statistique un caractère plus certain.

Ces chiffres montrent que l'accident de chaudières à foyer extérieur a entraîné en moyenne 1 mort, alors qu'il faut 2 accidents pour 1 mort avec les chaudières à foyer intérieur; il semble donc que l'accident de chaudières à foyer intérieur est moitié moins dangereux.

En est-il de même en France? Les statistiques françaises de 1873 à 1890 accusent, pour les chaudières à foyer extérieur, 296 accidents avec 255 morts; pour les chaudières à foyer intérieur, 46 accidents avec 52 morts (Tableau III). Ici, l'accident de chaudière à foyer intérieur paraîtrait donc aussi dangereux que celui du foyer extérieur(*).

J'ai continué mes recherches en rapportant le nombre des accidents au nombre des chaudières en service ; mais j'ai limité mes observations à la dernière période décennale de 1891 à 1900.

Le tableau de la répartition des chaudières en Prusse montre qu'au début de cette dernière période, il y avait 8.007 chaudières à foyer extérieur de divers types, et que, depuis, il en a été monté 2.313; la moyenne de chaudières en service pendant ce temps aurait été de 9.163. De même, en 1891, il y avait 18.795 chaudières

(*) Il faut indiquer ici que, dans les statistiques allemandes, les tués sont ceux qui le sont sur le coup et ceux qui sont décédés dans les quarante-huit heures, tandis qu'en France les tués comprennent aussi ceux qui meurent ensuite des conséquences des accidents ; en réalité les chiffres de tués en France devraient être un peu diminués de ce fait.

à foyer intérieur; de 1891 à 1900, il en a été monté 18.380, soit une moyenne de 27.985 pendant cette dernière période décennale.

Pendant ce temps, il y a eu 12 tués avec les chaudières à foyer extérieur et 22 avec les chaudières à foyer intérieur, ce qui donne par 10.000 chaudières et par an, pour les premières, 1,31 tué, et pour les deuxièmes, 0,79.

Il est probable que ces chiffres seraient dans les mêmes proportions pour tout l'empire d'Allemagne. La moindre proportion de victimes avec les chaudières à foyer intérieur dans ce pays semblerait indiquer que ce type y donne un plus grand coefficient de sécurité.

Pour la France, les bases de la statistique ont été changées dans la dernière période décennale, et elles ne permettent pas de relever nettement le nombre des chaudières des deux types en service pendant ce temps; on peut toutefois l'évaluer à 30.000 pour les chaudières à bouilleurs et 10.000 pour les foyers intérieurs.

Dans cette période, de 1892 à 1901, nous relevons 70 tués pour les chaudières à bouilleurs, soit 2,3 pour 10.000 chaudières et par an, et 14 pour les chaudières à foyer intérieur, soit 1,4 pour 10.000 appareils. En France, la comparaison des deux types de chaudières semblerait indiquer également que le foyer intérieur donne plus de sécurité. Cette dernière conclusion pour la France peut ne pas être très précise en raison du moins grand nombre de foyers intérieurs en fonction. Des conclusions nettes viendraient plutôt d'Allemagne. Pour bien fixer les idées sur ce point, je reviens sur le chiffre de 18.380 chaudières à foyer intérieur, montées dans la dernière période décennale en Prusse; comme je l'ai dit, ce chiffre montre que le nombre d'appareils de ce type a doublé dans cette dernière période; il y a là l'indication d'un développement industriel très récent, qui fait ressortir qu'en Allemagne les chaudières sont beaucoup

moins âgées qu'en France; ainsi pourrait s'expliquer la proportion moins grande d'accidents, non seulement pour les chaudières à foyer intérieur, mais pour toutes les chaudières en général. Pour l'ensemble des appareils à vapeur, les statistiques donnent en effet, pour 10.000 chaudières, 1,5 tué en Allemagne et 2,2 en France.

En résumé, d'après cette étude, il semble que les chaudières à foyer intérieur donnent un coefficient de sécurité plus grand. Toutefois ces chaudières, qui sont plutôt en usage dans l'Europe centrale, sont d'un âge moins ancien, et le temps, avec l'usure des appareils, pourra peut-être, dans quelques années, modifier ces conclusions.

J'ai cherché à préciser ce point. Dans sa revue périodique des accidents d'appareils à vapeur (*Annales des Mines*, livraison de janvier 1903), M. Walckenaer, Ingénieur en chef des Mines, résumant les accidents de 1875 à 1900, les classe ainsi :

	1875 à 1879	1880 à 1900
Défauts de construction et d'établissement	22 p. 100	19 p. 100
Défauts d'entretien et de nettoyage	33	49
Manque d'eau	24	11
Excès de pression	7	8
Divers	14	13
	100 p. 100	100 p. 100

On peut conclure de l'inspection de ce tableau que, pour accroître la sécurité dans l'emploi des générateurs de vapeur, c'est avant tout et de plus en plus à l'amélioration des soins d'entretien et de nettoyage qu'il faut viser. Or le défaut de ces soins se fait surtout sentir avec le temps; le même déplacement dans la répartition des

causes d'accidents se produira en Allemagne quand les appareils auront vieilli, et le nombre des accidents pourra augmenter.

Les chaudières d'âge ancien doivent être en effet tenues pour suspectes et c'est ici le moment de rappeler l'important travail que M. Walther-Meunier a publié dans le *Bulletin de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur*, exercice 1902. L'Association ayant fait l'acquisition d'une ancienne chaudière construite en 1859, 812 éprouvettes de traction et de pliage y furent découpées.

Les essais de traction amenèrent M. Walther-Meunier à dire que : *c'est principalement dans l'absence de toute élasticité que résulte le danger des tôles ayant fait un long usage; une avarie qui, dans une tôle homogène et élastique, se bornerait à une déformation, occasionne une rupture et une déchirure pouvant entraîner l'explosion*, et il conclut en recommandant de *supprimer les chaudières ayant fonctionné pendant plus de trente-cinq ans*. Cette limite de trente-cinq ans est antérieure au grand développement industriel de l'Allemagne et, par suite, à l'époque de la construction des chaudières existant actuellement, ainsi qu'on peut le voir en se reportant au tableau I.

Sans préjuger de l'avenir, il semble, d'autre part, qu'en constatant l'état actuel de la chaudronnerie en Allemagne, il y ait là une autre raison pouvant expliquer aussi le moins grand nombre d'accidents de chaudières; les ateliers, outillés plus récemment, ont pu appliquer des procédés plus perfectionnés; les fonds bombés emboutis et les foyers ondulés, qui constituent les parties essentielles des chaudières à foyers intérieurs, sont l'objet de travaux de métallurgie fort remarquables; de plus, avec ces fonds bombés, la poussée des foyers est bien ménagée : c'est ce qui n'a pas lieu en Angleterre, où les chaudières

à foyers intérieurs, plus généralement en usage, sont à fonds plats armaturés.

En somme, l'âge récent et la bonne construction des chaudières en Allemagne paraissent être les deux facteurs principaux dans la diminution du nombre d'accidents.

En résumant ainsi cette rapide étude, je tiens à rappeler que je ne me suis placé, dans cette comparaison entre les chaudières à foyers intérieurs et celles à bouilleurs, qu'au point de vue de la sécurité, sans m'étendre sur les considérations de conduite, d'entretien, de facilité de réparations, etc.

TABLEAU I. — RÉPARTITION DES CHAUDIÈRES EN PRUSSE EN 1900 SUIVANT LEUR AGE ET LEUR TYPE.

GENRES DE CHAUDIÈRES	D'UN AGE De 0 à 10 ans	De 10 à 20 ans	De 20 à 30 ans	De 30 à 40 ans	De 40 à 50 ans	De plus de 50 ans	Inconnu	TOTAL du nombre de chaudières
Cylindriques simples	364	445	492	256	54	5	17	1.633
Cylindriques à tubes de fumée	1.004	1.047	1.123	27	5	—	19	3.225
Cylindriques à bouilleurs	945	1.918	1.704	689	148	6	42	5.442
A tubes d'eau	565	468	108	8	2	—	3	1.154
A foyers intérieurs	16.077	9.236	5.095	1.756	263	14	129	32.570
A foyers intérieurs et bouilleurs transversaux	2.303	1.933	333	25	2	—	13	4.609
Avec boîte à feu et tubes de fumée en prolongement (type locomotive)	13.959	7.787	4.009	715	21	—	219	26.710
Avec boîte à feu et tubes de fumée en retour	336	381	222	114	5	—	9	1.067
Avec boîte à feu et tubes bouilleurs	2.186	1.808	618	81	1	—	43	4.737
Chaudières d'autres systèmes	5.081	2.107	503	73	5	—	17	7.786
Dont : Chaudières à tubes bouilleurs	3.883	1.349	120	9	2	—	9	5.372
— à tubes de fumée	1.013	675	333	52	3	—	7	2.083
— à tubes bouilleurs et à tubes de fumée	65	35	27	8	—	—	1	136
— d'autres genres	120	48	23	4	—	—	—	195
TOTAL	42.820	27.130	14.207	3.704	506	25	511	88.943

TABLEAU II. — ACCIDENTS DE CHAU

ANNÉES		CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR cylindriques horizontales			CHAUDIÈRES à foyer extérieur à tubes de fumée sans boîte à feu intérieure	CHAUDIÈRES A F	
		simples	à 1 bouilleur	à 2 bouilleurs et plus		1 foyer	1 foyer et tubes genre Galloway
1879	Explosions	1	8	2		4	
	Tués	—	19	2		5	
	Blessés grièvement	—	9	—		—	
	Blessés légèrement	1	21	—		7	
1880	Explosions		2	2		3	
	Tués		2	1		1	
	Blessés grièvement		1	2		—	
	Blessés légèrement		3	1		—	
1881	Explosions	1	5	3		1	
	Tués	—	6	1		1	
	Blessés grièvement	1	14	2		1	
	Blessés légèrement	—	11	9		—	
1882	Explosions	1	4			1	
	Tués	1	10			—	
	Blessés grièvement	—	6			1	
	Blessés légèrement	—	11			—	
1883	Explosions	3	4	1		3	
	Tués	1	8	—		4	
	Blessés grièvement	1	4	—		1	
	Blessés légèrement	1	7	2		8	
1884	Explosions		3	2			
	Tués		5	—			
	Blessés grièvement		2	1			
	Blessés légèrement		14	—			
1885	Explosions		4	2			
	Tués		1	4			
	Blessés grièvement		1	—			
	Blessés légèrement		5	—			
1886	Explosions	1	2	2	2	2	
	Tués	3	2	1	—	—	
	Blessés grièvement	2	1	—	—	—	
	Blessés légèrement	3	—	1	—	—	
1887	Explosions		3	3		1	
	Tués		5	10		—	
	Blessés grièvement		—	2		—	
	Blessés légèrement		3	50		1	
1888	Explosions	1	4	2		2	
	Tués	—	—	—		4	
	Blessés grièvement	—	1	—		2	
	Blessés légèrement	—	3	—		1	
1889	Explosions		2	2	1		
	Tués		2	2	1		
	Blessés grièvement		—	3	—		
	Blessés légèrement		1	5	1		
1890	Explosions		2	2		2	
	Tués		—	1		3	
	Blessés grièvement		—	—		—	
	Blessés légèrement		1	3		—	

…apeur en Allemagne de 1879 a 1902.

…ouailles a	Chaudières	Chaudières a boite a feu et tubes de fumée			Chaudières a tubes d'eau			Totaux
2 foyers combinés à 1 générateur à tubes de fumée	cylindriques verticales simples	marines	genre locomotive ou locomobile	verticales	faisceau horizontal ou incliné	faisceau vertical — foyer extérieur	faisceau vertical — foyer intérieur (type vertical)	
		1					1	18
	—	10					—	36
	—	1					—	10
	—	2					1	32
			1		2			18
			—		2			10
			—		—			5
			—		1			14
								11
								8
								18
								21
		1			2			10
	1	4			—			15
	—	—			4			13
	2	—			3			15
	1			1		1		14
	1			3		1		23
	6			—		—		8
	2			—		1		24
	5	1	1					13
	1	1	—					12
	1	4	1					11
	1	—	3					21
	2		2	2	2			13
	1		1	3	2			11
	—		—	—	1			2
	—		—	3	1			9
	—				1			15
	1				1			10
	2				—			5
	1				1			7
	2	1					3	13
	1	—					1	17
	1	—					2	5
	1	1					—	59
	4	1	1		1			15
	1	—	—		—			4
	—	—	—		—			3
	—	—	—		—			4
	—	2	2		3			16
		—	—		1			6
		1	1		—			5
		2	1		3			17
					1		1	14
					1		—	7
					—		—	1
					—		2	10

ANNÉES		CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR cylindriques horizontales — simples	CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR cylindriques horizontales — à 1 bouilleur	CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR cylindriques horizontales — à 2 bouilleurs et plus	CHAUDIÈRES à foyer extérieur à tubes de fumée sans boîte à feu intérieure	CHAUDIÈRES A FO… — 1 foyer	CHAUDIÈRES A FO… — 1 foyer et tubes genre Galloway
1891	Explosions		2	2		1	
	Tués		—	—		—	
	Blessés grièvement		—	1		1	
	Blessés légèrement		2	—		—	
1892	Explosions		4	2		2	
	Tués		1	1		—	
	Blessés grièvement		—	1		—	
	Blessés légèrement		—	4		—	
1893	Explosions		1	2		1	
	Tués		—	3			
	Blessés grièvement		—	2			
	Blessés légèrement		—	6			
1894	Explosions		3	4		5	
	Tués		1	1		1	1
	Blessés grièvement		—	2		2	1
	Blessés légèrement		4	—		3	—
1895	Explosions		2	2		1	—
	Tués		—	1		—	
	Blessés grièvement		—	2		—	
	Blessés légèrement		—	3		—	
1896	Explosions			1		3	
	Tués			—		—	
	Blessés grièvement			—		—	
	Blessés légèrement			2		—	
1897	Explosions		1	2		4	
	Tués		1	6		3	
	Blessés grièvement		1	—		—	
	Blessés légèrement		1	3		2	
1898	Explosions		2	2		3	
	Tués		—	—		—	
	Blessés grièvement		2	—		1	
	Blessés légèrement		4	3		1	
1899	Explosions	1	2			3	
	Tués	6	—			1	
	Blessés grièvement	3	—			5	
	Blessés légèrement	2	—			3	
1900	Explosions		2			1	
	Tués		—			1	
	Blessés grièvement		—			—	
	Blessés légèrement		1			—	
1901	Explosions		2	1		3	
	Tués		—	1		3	
	Blessés grièvement		—	—		—	
	Blessés légèrement		2	—		1	
1902	Explosions	2	2		1	1	
	Tués	—	2		—	1	
	Blessés grièvement	1	—		2	1	
	Blessés légèrement	1	3		1	—	
TOTAUX	Explosions	11	66	42	4	47	
	Tués	11	65	35	1	28	
	Blessés grièvement	8	42	18	2	15	
	Blessés légèrement	8	98	92	2	27	

… CORNOUAILLES A		CHAUDIÈRES cylindriques verticales simples	CHAUDIÈRES A BOITE A FEU et tubes de fumée			CHAUDIÈRES A TUBES D'EAU			TOTAUX
…yers …bes …way	2 foyers combinés à 1 générateur à tubes de fumée		marines	genre locomotive ou locomobile	verticales	faisceau horizontal ou incliné	faisceau vertical — foyer extérieur	faisceau vertical — foyer intérieur (type vertical)	
								1	9
								—	
								1	3
								1	7
						3			16
						—			12
						1			7
						—			18
1						4			10
—						1			6
—						3			5
—						—			10
1			1			12	1		35
—			2			4	1		12
—			—			4	1		9
—			—			2	1		13
		1	1	1	1	8	1	1	22
		—	13	4	—	—	—	1	20
		9	4	3	—	2	—	1	23
		9	8	2	—	3	—	4	31
		1	1		1	7	1		20
		1	8		—	1	—		10
		—	—		—	2	—		2
		4	1		—	5	—		13
		2		2		5			21
		—		6		1			17
		—		—		2			3
		2		2		1			20
		1		1	2	6	1		18
		—		2	—	1	—		3
		—		2	1	1	—		7
		—		3	2	5	3		21
	1	1		2	1		1		14
	1	1		2	2		—		13
	—	—		2	—		1		11
	—	—		2	3		—		11
				3	1	2			11
				2	—	—			6
				—	—	—			1
				3	—	4			17
	1			3	1	4			16
	—			2	—	1			9
	—			—	1	1			2
	1			8	—	—			12
	1			2			2		17
	4			—					9
	1			1					7
	2			3					11
	3	14	10	21	10	60	7	7	377
	2	7	38	19	8	16	2	2	270
	1	16	10	10	2	21	2	4	166
	3	29	14	27	8	31	5	8	419

Tableau III.

Accidents de chaudières à vapeur en France de 1873 à 1901.

Années	Chaudières à foyer extérieur			Chaudières à foyer intérieur		
	accidents	tués	blessés	accidents	tués	blessés
1873	11	9	17	1	»	»
1874	10	9	7	5	6	6
1875	9	7	11	1	1	»
1876	17	17	26	2	3	2
1877	10	9	5	2	1	4
1878	12	14	3	3	5	»
1879	12	9	9	2	1	3
1880	9	9	5	1	»	»
1881	15	7	5	1	1	2
1882	11	7	6	1	3	»
1883	16	6	6	2	»	»
1884	14	10	4	3	1	1
1885	10	26	21	1	3	7
1886	11	9	4	»	»	»
1887	13	10	9	»	»	»
1888	10	7	9	1	3	1
1889	3	4	1	4	3	»
1890	10	3	2	2	7	6
1891	8	11	4	1	»	»
1892	7	»	2	»	»	»
1893	13	15	10	4	2	2
1894	10	8	6	1	»	»
1895	8	12	2	1	4	3
1896	8	1	5	1	4	»
1897	6	6	3	2	»	»
1898	11	5	3	2	4	9
1899	7	5	3	2	»	»
1900	4	4	13	»	»	»
1901	11	14	8	»	»	»
	296	253	209	46	52	48

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS SURVENUS DANS LES MINES ET CARRIÈRES.

s des rapports du Ministre de l'Intérieur, approuvés par le Président de la République, pendant l'année 1903 (*).

NOMS prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées — MÉDAILLES en or	en argent	MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables — LETTRES de félicitations
19 janvier 1903. NORD.					
..MPLE (J.-B.), mineur Saint-Saulve.	Saint-Saulve (29 janvier 1902).	A porté secours à plusieurs de ses camarades en danger d'être asphyxiés au fond d'une fosse.	»	»	Lettre de félicitations.
Juillet 1903. HAUTE-SAONE.					
..ILLE (Pierre), garde ..rticulier à Sauvigny-..s Pesmes.	Sauvigny-les-Pesmes (28 février 1902).	A porté secours, au péril de sa vie, à un homme sur le point de faire une chute mortelle dans un puits de mine.	»	»	Médaille de bronze

(*) Cet état fait suite à celui qui a été inséré dans le 2e volume de 1902 (p. 565).

NOMS prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées: Médailles en or	Médailles en argent	Médailles de bronze — Mentions honorables — Lettres de félicitation
		3 octobre 1903. DEUX-SÈVRES.			
GALAIS (François), ouvrier mineur à Saint-Laurs.	Saint-Laurs (1899 ou 1900).	A secouru un de ses camarades sur le point d'être écrasé par une cage de remontée ou de faire une chute de 270 mètres de haut.	»	»	Lettre de félicitation

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DES ÉTATS-UNIS EN 1901 (*) ET EN 1902.

1° PRODUCTION DES MINERAIS ET MINÉRAUX.

SUBSTANCES	1901 POIDS	1901 VALEUR	1902 POIDS	1902 VALEUR
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Charbon. Anthracite.....	61.270.558	583.807.005	37.604.343	429.951.546
Charbon. Houille bitumineuse.......	204 808.110	1.224.061.009	234.393.529	1.479.275.076
Asphalte.................	18.521	1.747.520	27.128	2.018.138
Calcaire asphaltique.......	6.325	172.882	1.686	40.311
Grès bitumineux..........	31.078	717.953	52.469	813.742
Gilsonite.................	1.653	238.280	3.676	316.923
Pétrole brut.............	8.839.263	344.041.795	12.174.961	365.853.558
Gaz naturel..............	»	140.209.650	»	155.400.000
Graphite cristallin.........	1.800	704.035	1.895	793.301
Graphite amorphe.........	734	164.724	4.299	289.894
Minerai de fer............	28.333.679	245.577.139	35.190.299	335.506.248
— de manganèse.....	649.016	8.516.526	»	»
A reporter......	....	2.549.958.518	....	2.770.258.737

(*) Les chiffres de 1901, bien que déjà publiés l'an dernier (*Ann. des Mines*, 2e vol. de 1902, p. 295-298), sont donnés de nouveau ici, à raison des modifications apportées à un certain nombre d'entre eux.

SUBSTANCES	1901		1902	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALEUR
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Report.........	....	2.549.958.518	....	2.770.258.737
Minerai de chrome........	506	40.093	320	24.475
— d'uranium.........	340	530.950	735	»
— de tungstène......	162	143.590	224	199.948
— de brome.........	250	772.053	233	665.485
— de bismuth........	289	132.028	34	15.333
— de zinc...........	40.058	6.048.6[illegible]3	49.582	7.506.359
Sulfate de cuivre.........	35.282	19.031.320	22.119	10.507.956
— de zinc...........	6.804	1.670.161	»	»
Molybdénite..............	15	3.885	15	3.885
Pyrites..................	238.661	5.306.646	231.849	5.033.903
Soufre..................	7.088	1.157.367	7.562	1.142.501
Acide sulfurique..........	88.905	11.878.776	»	»
Oxyde de cobalt (en kilogr.).	6.062[k]	124.569	»	»
Bauxite..................	19.214	413.955	27.759	629.189
Sel.....................	2.613.299	34.278.386	3.029.022	29.363.534
Monazite................	340	306.977	»	»
Pierre à bâtir............	»	288.090.497	»	»
Pierre à chaux et castine...	8.679.656	24.137.950	9.644.931	28.512.025
Ciment naturel hydraulique.	963.921	15.831.520	1.236.110	21.174.245
Ciment de Portland........	2.306.756	64.917.625	3.000.090	86.182.250
Sable....................	914.460	7.013.264	1.016.000	7.770.000
Silice, briques...........	»	5.273.499	»	6.216.000
Ardoises à écrire.........	4.418	213.473	»	»
Argile...................	»	570.896.021	»	518.000.000
Ardoises pour toitures.....	394.072	21.312.644	»	»
Ardoises manufacturées....	»	3.486.736	»	»
Phosphate de chaux.......	1.507.463	27.538.968	1.488.103	24.017.153
Gypse...................	598.602	8.171.414	»	»
Borate de chaux..........	21.075	5.242.771	15.105	12.613.269
Soude naturelle...........	13.608	1.020.460	14.515	1.077.440
Barytine.................	44.528	817.632	52.752	967.173
Magnésite................	11.949	223.035	3.144	110.655
Amiante.................	678	69.920	916	64.232
Talc commun.............	25.984	2.200.920	19.632	2.141.914
Talc fibreux..............	62.778	2.505.048	64.501	3.187.513
Mica....................	(*) 2.127	614.234	»	»
Lépidolite...............	100	21.083	»	»
Spath fluor..............	17.773	589.500	27.561	743.434
Feldspath................	31.517	1.141.786	»	»
Pierres précieuses.........	»	1.497.279	»	1.648.794
Ocre....................	39.042	2.674.475	50.186	3.652.035
Blanc de zinc.............	42.185	10.269.600	46.929	20.840.689
Zinc-plomb..............	2.268	777.000	3.629	1.165.500
Terre à foulon............	12.802	501.605	12.791	569.696
Corindon et émeri.........	3.905	756.487	»	492.799
Grenat..................	4.033	818.958	3.376	457.239
Pierre ponce.............	»	»	91	2.590
Terre à diatomées.........	3.647	274.281	4.404	258.865
Pierre à meules...........	15.247	3.108.042	»	3.402.390
Pierres à aiguiser.........	»	819.994	»	1.135.311
Quartz..................	12.476	214.970	12.614	608.251
Autres produits non spécifiés	»	25.900.000	»	331.079.700
TOTAUX..........	....	3.739.640.568	....	3.903.442.467

(*) Y compris 163 tonnes environ de mica en feuilles, à 3.142 francs la tonne.

2° PRODUCTION DES MÉTAUX.

SUBSTANCES	1901		1902	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALE
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	fran
Fonte	15.836.283	1.205.905.699	17.890.059	1.498.5
Ferro-manganèse	295.124	85.935.993	216.389	71.7
Ferro-molybdène	7	101.528	7	1
Ferro-tungstène	6	19.529	6	2
Cuivre	270.998	448.739.598	277.064	368.1
Plomb	253.944	125.569.649	254.489	118.2
Zinc	127.788	58.356.637	143.552	79.3
Mercure	1.031	7.160.340	1.195	7.7
Antimoine	2.404	2.807.664	3.230	3.2
Aluminium	3.243	11.592.840	3.312	11.8
Molybdène	16	321.807	16	3
Tungstène	34	236.985	37	2
Argent (en kilogrammes)	1.717.334	168.135.823	1.726.229	149.9
Or d°	118.363	407.493.506	129.369	414.3
Platine (en tonnes)	44	142.585	....	
Iridium	....	26.211	....	
Nickel	3.040	18.394	....	....
Totaux	....	2.522.564.788	....	2.724.0

3° MATIÈRES FABRIQUÉES ET PRODUITS CHIMIQUES.

SUBSTANCES	1901		1902	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALI
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	frar
Coke	19.773.095	230.229.881	20.947.421	268.6
Graphite artificiel (en kilog.)	1.134.301	616.420	1.060.996	5
Acier en poudre	313	196.581	333	2
Carborindon	1.741	1.789.353	1.897	1.9
Alun	7.036	1.081.822	7.747	1.1
Couperose	21.397	582.056	17.948	6
Sulfate d'alumine	67.786	7.022.630	78.994	10.0
— d'ammoniaque	60.000	18.986.772	65.000	22.0
Soude fabriquée	480.000	43.089.312	562.000	53.3
Blanc de plomb	91.433	58.288.743	104.011	62.0
Rouge de plomb	11.887	7.503.489	10.586	6.5
Plomb orangé minéral	986	1.163.775	787	7
Rouge vénitien	8.347	794.959	10.667	1.0
Litharge	8.582	5.074.255	11.571	6.7
Ciment de laitier	49.490	1.026.422	99.279	2.4
Laine minérale (*)	5.690	357.379	9.837	
Totaux	....	377.803.849	....	438.6

(*) Produite par les hauts fourneaux.

4° MÉTAUX TIRÉS DES MINERAIS ÉTRANGERS.

SUBSTANCES	1901		1902	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALEUR
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
....	46.520	85.657.853	38.556	51.237.711
....	20.194	9.985.569	31.681	14.721.311
....	3.930	20.915.338	4.714	23.415.118
n kilogrammes)....	1.412.404	144.263.026	1.495.668	129.926.345
d°	53.835	185.323.793	52.564	180.948.853
Totaux...	....	446.145.579	....	400.249.338

RÉCAPITULATION.

	1901	1902
	VALEUR EN FRANCS	VALEUR EN FRANCS
luction des minerais et minéraux....	3.739.640.568	3.903.442.467
luction des métaux...............	2.522.564.788	2.724.031.584
luits fabriqués....................	377.803.849	438.688.420
aux tirés des minerais étrangers.....	446.145.579	400.249.338
Totaux généraux........	7.086.154.784	7.466.411.809

(*Extrait de* The Mineral Industry, *Vol. XI*, 1903.)

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1903 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

APPELL (P.). — Traité de mécanique rationnelle : 2e édition, entièrement refondue. T. 2 : Dynamique des systèmes ; Mécanique analytique. In-8°, VIII-552 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 16 fr. (11092)

BOUSSINESQ (J.). — Théorie analytique de la chaleur, mise en harmonie avec la thermodynamique et avec la théorie mécanique de la lumière. T. 2 : Refroidissement et Échauffement par rayonnement ; Conductibilité des tiges, lames et masses cristallines ; Courants de convection ; Théorie mécanique de la lumière. In-8°, XXXII-626 p. Paris, Gauthier-Villars. 18 fr. (7178)

CAUCHY (A.). — Œuvres complètes d'Augustin Cauchy. Publiées sous la direction scientifique de l'Académie des sciences et sous les auspices de M. le ministre de l'Instruction publique. 2e série. T. 5. In-4°, 532 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 25 fr. (9266)

COLLIGNON (E.). — Traité de mécanique ; Deuxième partie : Statique. 4e édition. In-8°, 670 p. avec fig. Paris, Hachette et Cie. 7f,50. (9273)

DASSEN (C.-C.). — Étude sur les quantités mathématiques. Grandeurs dirigées. Quaternions. In-8°, VI-135 p. avec fig. Paris, Hermann. (10460)

(*) Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

Duhem (P.). — Remarques sur la mécanique générale et la mécanique électrique. In-8°, 4 p. Tours, impr. Deslis frères. (Extr. du *Journal de Physique.*) (9506)

Dulac (H.). — Recherches sur les points singuliers des équations différentielles (thèse). In-4°, 131 p. Paris, Gauthier-Villars. (6823)

Hadamard (J.). — Leçons sur la propagation des ondes et les équations de l'hydrodynamique. In-8°, xiii-377 p. avec fig. Paris, Hermann. (11395)

Liénard (A.). — Note sur la théorie cinétique des gaz. In-8°, 1 p. Tours, impr. Deslis frères. (Extr. du *Journal de Physique.*) (9563)

Mach (E.). — La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement. Ouvrage traduit sur la 4e édition allemande par *E. Bertrand*, professeur à l'École des mines du Hainaut et à l'Institut des Hautes Études de Bruxelles, avec une introduction d'*Émile Picard*, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris. In-8°, ix-499 p. avec fig. Paris, Hermann. (11425)

Manville (O.). — Sur la déformation finie d'un milieu continu (thèse). In-8°, 87 p. Bordeaux, impr. Gounouilhou. (11688)

2° *Physique et Chimie.*

Barral (E.). — Précis d'analyse chimique qualitative; viii-496 p. avec 144 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (10596)

Bouty (E.). — La Cohésion diélectrique des gaz. In-8°, 36 p. Tours, impr. Deslis frères. (Extr. du *Journal de Physique.*) (7891)

Brillouin (M.). — Propagation de l'électricité (Histoire et Théorie). In-8°, vi-399 p. avec fig. et planches. Paris, Hermann. (11822)

Chipart (H.). — La Théorie gyrostatique de la lumière. In-8°, 196 p. Paris, Gauthier-Villars. 6f,50. (11152)

Claude (G.). — L'Air liquide : sa production, ses propriétés, ses applications. Préface de M. *d'Arsonval*, membre de l'Institut. In-8°, 125 p. avec fig. Paris, Ve Dunod. 3f,50. (6604)

Estanave (E.). — Nomenclature des mémoires de physique expérimentale et de physique mathématique présentés en France dans le courant du xixe siècle, devant les facultés des sciences, en vue du doctorat. In-8°, 20 p. Tours, Paris, Gauthier-Villars. (Extr. du *Journal de Physique.*) (9512)

Giran (H.). — Recherches sur le phosphore et les acides phospho-

Thevenet. — Recherches de thermodynamique sur la distribution des éléments météorologiques à l'intérieur des masses d'air en mouvement. Pet. in-4°, x-94 p. avec fig. Alger, Jourdan. (12000)

Van't Hoff (J.-H.). — La Chimie physique et ses applications. Huit leçons faites sur l'invitation de l'Université de Chicago, du 20 au 24 juin 1901. Traduit de l'allemand par *A. Corvisy*, professeur agrégé au lycée de Limoges. In-8°, 79 p. avec fig. Paris, Hermann. (10570)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Audouin (M.) et G. Lacouloumère. — Archéologie vendéenne. Découverte d'une station de silex taillés de l'époque moustérienne au Moulin-Cassé de Saint-Martin-de-Brem (Vendée). In-8°, 16 p. avec plan et grav. Vannes, impr. Lafolye frères. (Extr. de la *Revue du Bas-Poitou.*) (11537)

Benoist (E.). — Profil géologique du chemin de fer d'Argentan à la Châtre (Stratigraphie, Paléontologie et Orogénie). In-8°, 32 p. Tours, impr. Arrault et Cie. (10600)

Bresson (A.). — Études sur les formations anciennes des hautes et basses Pyrénées (haute chaîne) (thèse). In-8°, 283 pages avec 77 fig. et 7 pl. Paris, Béranger. (*Bull. des services de la Carte géologique de la France et des topographies souterraines.*) (6589)

Depéret (C.). — Études paléontologiques sur les *Lophiodon* du Minervois. Structure du crâne, des membres et Affinités générales des *Lophiodon.* Gr. in-4°, 51 p. avec 8 fig. et 4 pl. Lyon, Rey. (Extr. des *Archives du Muséum d'hist. nat. de Lyon.*) (9053)

Documents pour la détermination des minéraux, et Liste des minéraux et des roches dont la connaissance est exigée aux épreuves pratiques du certificat d'études supérieures de minéralogie de l'Université de Besançon. 2e édition, revue et corrigée. In-8°, 48 p. Besançon, impr. Jacquin. (8179)

Ferrasse (E.). — Étude spéléologique et hydrologique du Causse minervois. In-8°, 12 p. Paris, Impr. nationale. (Extr. des *Comptes rendus du congrès des sociétés savantes en* 1902.) (10893)

Kilian (W.) et J. Révil. — Contributions à la connaissance de la zone du Briançonnais (le Jurassique supérieur). In-8°, 31 p. et carte. Grenoble, impr. Allier frères. (Extr. des *Annales de l'Université de Grenoble.*) (11658)

Laurent (A.). — Compte rendu des excursions géologiques faites par les étudiants des facultés de province en juillet 1902 dans

le Jura franc-comtois, sous la direction de M. le professeur Fournier. In-8°, 35 p. avec fig. et grav. Besançon, impr. Dodivers. (Extr. des *Mém. de la Soc. d'hist. nat. du Doubs.*) (6884)

Mémoires de la Société géologique de France. Paléontologie. T. 10. Fascicules 2 et 3. Mémoire n° 27 : Conchyliologie du miocène moyen du bassin de la Loire ; par *G.-F. Dollfus* et *Ph. Dautzenberg*. Première partie : Pélécypodes. Gr. in-4°, 106 p. avec 1[illegible] et 5 pl. Paris, Société géologique de France. 22 fr. (78[illegible])

Meunier (S.). — Sur quelques formes remarquables prises par de[illegible] silex sous l'effet de l'éclatement spontané par la gelée. In-8°, 15 p. avec 11 fig. Paris, Impr. nationale. (Extr. des *Comptes rendus du congrès des sociétés savantes en* 1902.) (8914)

Miron (F.). — Étude des phénomènes volcaniques (Tremblements de terre ; Éruptions volcaniques; le Cataclysme de la Martinique, 1902). In-8°, VIII-320 p. avec 46 fig. et carte. Paris, Béranger. (7343)

Ramond (G.). — Notes de géologie parisienne. II : le Chemin de fer d'Issy à Viroflay (R. G.). In-8°, 12 p. et plan. Paris, Impr. nationale. (Extr. des *Comptes rendus du congrès des sociétés savantes en* 1902.) (9173)

Renault (B.). — Sur quelques micro et macrospores fossiles. In-8°, 15 p. avec fig. Paris, Impr. nationale. (Extr. du même recueil.) (11030)

Thieullen (A.). — Le Mammouth et le Renne à Paris. Gr. in-8°, 24 p. Paris, impr. Larousse. (8065)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Deschamps (J.). — Les Gazogènes et les Moteurs à gaz pauvre, conférence donnée à l'Institut chimique de Nancy, le 29 avril 1903. In-8°, 43 p. avec fig. et planche. Nancy, impr. Pierron et Hozé. (Supplément au *Bull. trimestriel de la Soc. industrielle de l'Est.*) (7479)

Farman (H.). — L'Automobile. In-4°, 56 p. avec 38 fig. dans le texte et 1 planche coloriée démontable à feuillets découpés et superposés. Paris, Schleicher frères et Cie. (7495)

Franche (G.). — Manuel de l'ouvrier mécanicien. 2 vol. in-16. Première partie (Principes de mécanique générale), VII-121 p. avec fig. 1 à 95 ; deuxième partie (Outils et Machines-Outils), 148 p. avec fig. 96 à 174. Paris, Tignol. 2 fr. le vol. (7239)

Grimshaw (R.). — L'atelier moderne de constructions mécaniques.

Procédés mécaniques spéciaux et Tours de main. 1re série. Traduit de l'anglais par *A.-N. Lattuga*. In-8°, 398 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 10 fr. (9876)

Haruège (H. d'). — Moteurs à pétrole et Automobiles à la portée de tous. Petit in-8° oblong à 2 col., 32 p. avec 20 fig. Paris, Gotty. 75 cent. (7265)

Kiss (H.). — Note sur l'explosion d'un récipient de vapeur, le 21 octobre 1902, dans la distillerie de MM. Delaune et Cie, à Seclin (Nord). In-8°, 11 p. avec fig. Paris, Ve Dunod. (Extr. des *Annales des Mines*.) (10503)

Masse (R.). — Les Pompes. Préface de M. *Haton de La Goupillière*, de l'Institut, inspecteur général des mines. Gr. in-8°, XVI-528 p. avec fig. Paris, Ve Dunod. 30 fr. (9129)

Rapports du jury international de l'Exposition universelle internationale de 1900, à Paris. Classe 21 (Appareils divers de la mécanique générale). Rapport de M. *L. Masson*, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 180 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (9960)

——— Classe 22 (Machines-Outils). Rapport de M. *A. Masselon*, chef d'escadron d'artillerie, sous-directeur de la Manufacture d'armes de guerre de Tulle. Gr. in-8°, 426 p. avec 276 fig. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (7594)

Schmidt (E.). — Applications de la vapeur surchauffée. In-8°, 28 p. Amiens, impr. Jeunet. (Extr. du *Bull. de la Soc. industrielle d'Amiens*.) (9195)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Barbillon (L.). — L'Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble. In-4°, 16 p. avec fig. Paris, Naud. (Extr. de *l'Éclairage électrique*.) (8758)

Béghin (A.). — Conférences d'électricité industrielle. Première année : Principes d'électrotechnique. In-4°, VIII-120 p. avec fig. Roubaix, Sénécaut. (11358)

Belloc (M.-G.). — Thermo-Électricité du fer et des aciers (thèse). In-8°, 75 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (6580)

Brochet (A.). — Recherches sur l'emploi des diaphragmes métalliques dans l'électrolyse. In-4°, 7 p. Paris, Naud. (Extr. de *l'Éclairage électrique*.) (8772)

Chassagny (M.). — Manuel théorique et pratique d'électricité.

2ᵉ édition, revue et complétée. In-16, 416 p. avec 289 fig. Paris, Hachette et Cⁱᵉ. 4 fr. (8436)

Congrès international d'électricité (Paris, 18-25 août 1900). Annexes publiées par les soins de M. *E. Hospitalier*, rapporteur général. In-8°, 322 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 10 fr. (Exposition universelle internationale de 1900.) (9280)

Desloges (A.). — Les Forges de Normandie. Origine de la fabrication du fer en Normandie. 2ᵉ édition, revue et augmentée d'après des documents nouveaux. Petit in-8°, 40 p. Verneuil, impr. Aubert (6809)

Électricité (l') à l'Exposition de 1900, publiée avec le concours et sous la direction technique de MM. E. Hospitalier, rédacteur en chef de *l'Industrie électrique*, et J.-A. Montpellier, rédacteur en chef de *l'Électricien*, avec la collaboration d'ingénieurs et d'industriels électriciens. 2 fascicules in-4°, avec fig. Fascicule 2 : Production de l'énergie électrique. Première section (Groupes électrogènes à courant continu, par *J.-A. Montpellier*), p. 1 à 52 ; deuxième section (Groupes électrogènes à courants alternatifs, par *J.-A. Montpellier*, *M. Aliamet* et *F. Loppé*), p. 53 à 152. Paris, Vᵉ Dunod. (10095)

—— —— Fascicule 9 : Téléphonie et Télégraphie. Première section : Téléphonie, par *L. Montillot*, inspecteur des postes et des télégraphes. In-4°, 135 p. avec fig. Paris, Vᵉ Dunod. (10096)

Galy-Aché (P.). — Recherches sur les propriétés mécaniques et physiques du cuivre (thèse). In-8°, 103 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (931

Janet (P.). — Premiers principes d'électricité industrielle (Piles; Accumulateurs ; Dynamos ; Transformateurs). 5ᵉ édition, revue et corrigée. In-8°, VIII-280 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 6 fr. (7281

—— Leçons d'électrotechnique générale, professées à l'École supérieure d'électricité. 2ᵉ édition, revue et augmentée. T. Iᵉʳ : Généralités ; Courants continus. In-8°, XII-369 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 11 fr. (11240

Ledebur (A.). — Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer. Traduit de l'allemand par *Barbary de Langlade*, ingénieur civil des mines, maître de forges. Revu et annoté par *F. Valton*, ingénieur civil des mines. 2ᵉ édition française entièrement refondue, d'après les troisième et quatrième éditions allemandes. T. Iᵉʳ. In-8°, VIII-XII-631 p. avec fig. Paris, Béranger. (11669

Lehmann (T.). — Diagramme rigoureux du moteur asynchrone

polyphasé. In-4°, 16 p. avec fig. Paris, Naud. (Extr. de *l'Éclairage électrique.*) (11672)

Pagliano (J.). — Note sur la marche en tampon des batteries d'accumulateurs aux bornes des commutatrices. In-4°, 7 p. avec fig. Paris, Naud. (Extr. du même recueil.) (11711)

Pionchon (J.). — Leçons d'électricité industrielle. T. 2, fasc. 1. In-8°, 278 p. avec fig. Grenoble, A. Gratier et J. Rey.

Rapports du jury international de l'Exposition universelle internationale de 1900, à Paris. Classe 64 (Grosse métallurgie). Rapport de M. *A. Lodin*, professeur du cours de métallurgie à l'École nationale supérieure des mines. Gr. in-8°, 478 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (7376)

—— Groupe 14 (Industrie chimique). Troisième partie : Classes 88 à 91. Gr. in-8°, 546 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (6934)

Robine (R.) et M. Lenglen. — L'Industrie des cyanures (étude théorique et industrielle). In-8°, 467 p. avec fig. Paris, Béranger. (9622)

Romain (A.) et N. Chryssochoïdès. — Nouveau Manuel complet du plombier-zingueur-couvreur et de l'appareilleur à gaz, contenant la fabrication et le travail du plomb, du zinc et de l'étain, etc. ; par *A. Romain*. Nouvelle édition, refondue, corrigée et augmentée, suivie de la Série des prix pour les travaux de couverture et de plomberie ; par *N. Chryssochoïdès*, ingénieur des arts et manufactures. In-18, VIII-684 p. avec 266 fig. Paris, Mulo. 4 fr. (11978)

Rosenberg (E.). — L'Électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier Manuel pratique, à l'usage des monteurs, électriciens, mécaniciens, élèves des écoles professionnelles, etc. Traduit de l'allemand par *A. Mauduit*, ancien élève de l'École polytechnique, chargé de conférences à l'Institut électrotechnique de Nancy. Petit in-8°, VIII-435 p. avec 284 fig. Paris, Vᵉ Dunod. 8ᶠ,50. (8723)

Sartiaux (E.) et M. Aliamet. — Principales découvertes et publications concernant l'électricité, de 1562 à 1900. Monographie du Musée rétrospectif français de l'électricité à l'Exposition universelle de 1900. Gr. in-8°, XII-267 p. avec 1 portrait hors texte, 28 portraits, 278 fig. et 9 autographes dans le texte. Paris, Rueff. (10747)

Sorel (E.). — La grande industrie chimique minérale. In-8°, 683 p. avec fig. Paris, Naud. (11990)

Wagner (R.), F. Fischer et L. Gautier. — Traité de chimie indus-

dans l'enceinte de Paris. In-8°, 27 p. et pl. Paris, Ve Dunod. (Extr. du même recueil.) (10784)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Au[illegible]ros (J.). — La Sécurité sur les voies ferrées. L'Aiguillage des trains. In-8°, 20 p. et fig. Montluçon, l'auteur. (6572)

Bernard (I.). — Formulaire graphique du constructeur, à l'usage des ingénieurs, architectes, entrepreneurs, etc. In-4°, 23 p. avec fig. Paris, Bellamy. (11812)

Deharme (E.) et A. Pulin. — Chemins de fer. Étude de la locomotive (Mécanisme ; Châssis ; Types de machines). In-8°, 716 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (12099)

Graffigny (H. de). — Guide pratique du constructeur. T. 2 : Fabrication et Emploi des nouveaux matériaux artificiels pour la construction moderne. In-16, 352 p. avec 124 fig. Paris, Hetzel. 4 fr. (8847)

Gruet. — Représentation graphique des enclenchements pour l'étude d'un poste enclenché. In-8°, 16 p. avec fig. Paris, Ve Dunod. (Extr. des *Annales des Mines.*) (9077)

Guillaumot (G.). — L'Organisation des chemins de fer en France (Construction des chemins de fer; Exploitation technique et commerciale; Constitution et Fonctionnement des grandes Compagnies). In-8°, 422 p. Paris, A. Rousseau. 8 fr. (6850)

Hervieu (J.). — Le Chemin de fer métropolitain municipal de Paris (Description du réseau général ; Lignes en exploitation ; Types des ouvrages ; Usines et Sous-Stations électriques ; Résultats de l'exploitation des lignes en service). Précédé d'une préface par *F. Bienvenüe*, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chef du service technique du Métropolitain. In-8°, vi-265 p. avec fig. et planches. Paris, Béranger. (8857)

Morel (M.-A.). — Les Matériaux artificiels. In-16, 179 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie. (8296)

Nony (G.). — Le Funiculaire électrique du Grand Jer. In-8°, 59 p. avec fig., cartes et planches. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (9592)

Rapports du jury international de l'Exposition universelle internationale de 1900, à Paris. Groupe 6 (Génie civil; Moyens de transport). Première partie : Classes 28 à 31. Grand in-8°, 756 p. avec fig. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (7595)

Résal (J.). — Poussée des terres. Stabilité des murs de soutènement. In-8°, viii-258 p. avec fig. Paris, Béranger. (12237)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1901. Documents principaux. In-4°, vi-541 p. Melun, Impr. administrative. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (8057)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Aguillon (L.). — Législation des mines en France. Nouvelle édition. In-8°, 1.015 p. Paris, Béranger. (12022)

Aguillon (P.). — De la déchéance du droit d'exploiter les mines. In-8°, 220 p. Paris, impr. Jouve. (10788)

Bougault (P.). — Législation des chutes d'eau, sources, rivières, cours d'eau non navigables. 2e édition. In-8°, 296 p. Grenoble, A. Gratier et J. Rey.

Colson (C.). — Cours d'économie politique, professé à l'École nationale des ponts et chaussées. T. 2 : la Propriété des biens corporels et incorporels ; le Commerce et la Circulation. In-8°, 778 p. Paris, Gauthier-Villars ; Guillaumin et Cie. 10 fr. (12084)

Delmas (L.). — Du contrôle de l'État sur les chemins de fer français d'intérêt général (thèse). In-8°, 190 p. Rennes, impr. Simon. (7693)

Documents relatifs à la grève des mineurs de 1902. In-4°, 347 p. Paris, Comité central des houillères de France. (681

Doniol (A.). — La Réglementation des chemins de fer d'intérêt local et des tramways (ouvrage complétant le livre publié en 1900 et traitant de la jurisprudence administrative des concessions d'après les lois, décrets et circulaires ministérielles qui ont paru dans ces dernières années). In-8°, 154 p. Paris, Béranger. (12108)

Engerand (F.). — Rapport sur la grève générale des mineurs de France (septembre-novembre 1902), fait au groupe républicain-nationaliste. In-8°, 88 p. Paris, impr. de Soye et fils. (7230)

Godet (A.). — Recueil de la législation des chemins de fer d'intérêt général. In-8°, 395 p. Paris, A. Rousseau. 8 fr. (9527)

Grève (la) des mineurs d'anthracite de Pensylvanie (1902). Rapport de la commission d'arbitrage nommée par le président Roosevelt. Traduit par M. *E. Fuster*. In-8°, viii-196 p. Paris, Comité central des houillères de France. (11217)

Lois concernant les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail (1898-1902). In-8°, 20 p. Paris, Muzard et Ebin. 60 cent. (11930)

Ubod (P.). — Accidents du travail (Loi du 9 avril 1898, modifiée par celle du 22 mars 1902; loi du 30 juin 1899 sur les exploitations agricoles). Manuel pratique pour le règlement des indemnités. In-8°, 328 p. Lyon, l'auteur, 138, rue Vendôme. 5 fr. (11981)

Saint-Victor de Saint-Blancard (L. de). — Des droits des riverains sur la force motrice des cours d'eau non navigables ni flottables (thèse). In-8°, XII-310 pages. Paris, A. Rousseau. (7839)

9° *Objets divers.*

Candlot (E.). — Chaux, Ciments et Mortiers. In-16, 191 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie. (9260)

Carnot (A.). — Cartes agronomiques et Musées cantonaux. In-8°, 20 p. Caen, Delesques. (Extr. de l'*Annuaire de l'Association normande.*) (6777)

Hospitalier (E.). — L'Observation et l'Enregistrement des phénomènes rapides (Manographe, Ondographe, Oscillographe, et leurs applications industrielles), conférence donnée à l'Institut électrotechnique de Nancy, le 10 juin 1903. In-8°, 23 p. avec 24 fig. Nancy, impr. Pierron et Hozé. (Suppl. au *Bull. trimestriel de la Soc. industrielle de l'Est.*) (7942)

Houllevigue (L.). — Rapport sur le progrès scientifique (Mathématiques, Physique, Chimie). In-8°, 43 p. Caen, impr. Valin. (9534)

Pascaud (H.). — La Houille blanche. Étude juridique et économique sur les conditions d'utilisation de la force motrice provenant des cours d'eau non navigables ni flottables. In-18, VIII-144 p. Paris, Fontemoing. 3 fr. (7578)

Petit (J.-E.). — Aide-mémoire des conducteurs et commis des ponts et chaussées, agents voyers, chefs de section, conducteurs et piqueurs des chemins de fer, contrôleurs des mines, adjoints du génie, entrepreneurs, et, en général, de toute personne s'occupant de travaux. 2e édition, revue, corrigée et augmentée. In-18, XVI-982 p. avec fig. Paris, Béranger. (8932)

Rapports des ingénieurs des mines aux conseils généraux sur la situation des mines et usines en 1902 dans les départements suivants : Allier, Alpes-Maritimes, Ardèche, Ariège, Aube, Aveyron, Basses-Alpes, Basses-Pyrénées, Bouches-du-Rhône, Calvados, Cantal, Charente, Charente-Inférieure, Corrèze,

Creuse, Deux-Sèvres, Dordogne, Drôme, Gard, Gers, Gironde, Hautes-Alpes, Haute-Loire, Hautes-Pyrénées, Haute-Saône, Haute-Savoie, Hérault, Isère, Landes, Loire, Loire-Inférieure, Lot, Lot-et-Garonne, Maine-et-Loire, Mayenne, Meurthe-et-Moselle, Nièvre, Nord, Pas-de-Calais, Puy-de-Dôme, Rhône, Saône-et-Loire, Sarthe, Savoie, Tarn, Tarn-et-Garonne, Var, Vaucluse, Vendée. In-4°, 320 p. Paris, Comité central des houillères de France. (12234)

Rapports du jury international de l'Exposition universelle internationale de 1900, à Paris. Introduction générale. T. 2. Troisième partie : Sciences. Quatrième partie : Industrie. Gr. in-8°, IX-395 p. Paris, Impr. nationale. (Ministère du commerce.) (10202)

Sorel (E.). — Les Phénomènes de la combustion dans les moteurs à alcool, conférence donnée à l'Institut chimique de Nancy, le 9 mai 1903. In-8°, 15 p. avec fig. Nancy, impr. Pierron et Hozé. (Suppl. au *Bull. trimestriel de la Soc. industrielle de l'Est.*) (8055)

Termier (P.). — Notice sur Hippolyte Lachat, inspecteur général honoraire des mines. In-8°, 16 p. Paris, Vᵉ Dunod. (Extr. des *Annales des mines.*) (7860)

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Askwith (E.-H.). — A Course of Pure Geometry. In-8°, 220 p. Cambridge Univ. Press. 6ᶠ,25.

Forsyth (A.-R.). — The Differential Invariants of Space. In-4°. 3ᶠ,75.

Grace (J.-H.) and Young (A.). — The Algebra of Invariants. In-8°, 392 p. Cambridge Univ. Press. 12ᶠ,50.

Hooper (W.-G.). — Æther and Gravitation. In-8°, 372 p. Chapman and Hall. 15ᶠ,65.

Jessop (C.-M.). — A Treatise on the Line Complex. In-8°, 380 p. Cambridge Univ. Press. 12ᶠ,50.

2° *Physique et Chimie.*

ᴙᴅ (C.-E.). — Electricity and Magnetism : Theoretical and ctical. In-8°, 316 p. E. Arnold. 4f,40.

ᴛᴛ (F.). — Some Theories of the Universe. The Formation Matter; Chemical Affinity; Heat of the Sun; Light; Electy. In-8°. E. Stock. 0f,65.

ɪ (P.-V.). — The Combination of Hydrogen and Chlorine er the Influence of Light. In-4°. Dulau. 3f,15.

ᴍ (C.-L.). — Chemistry, Inorganic and Organic. 9th ed. ised by *J.-M. Thompson* and *A.-G. Bloxam*. In-8°. Churl. 22f,50.

(W.-R.). — On the Laws Governing Electric Discharges in es at Low Pressures. In-4°. Dulau. 2f,50.

s (F.) and Coleman (J.-B.). — Elementary Practical Chetry. Part. I. General Chemistry. 4th edition. In-8°, 216 p. rchill. 3f,15.

ʟɪɴ (W.-S.). — The Elements of Alternating Currents. 2nd In-8°. Macmillan. 12f,50.

ʙʀᴏᴏᴋ (R.-T.). — Electricity and Magnetism. An Elementary t Book, Theoretical and Practical. In-8°, 450 p. Cambridge v. Press. 9f,40.

ʀ (W.-J.). — Radium and other Radio-Active Substances, onium, Actinium, and Thorium. In-8°, 80 p. Low. 5 fr.

ʀᴅsᴏɴ (O.-W.). — The Electrical Conductivity Imparted to a uum by Hot Conductors. In-4°. Dulau. 4f,40.

ᴏɴ (J.-J.). — Conduction of Electricity through Gases. In-8°, p. Cambridge Univ. Press. 20 fr.

ᴏɴ (F.-T.) and Noble (H.-R.). — The Mechanical Forces ng on a Charged Electric Condenser Moving through Space. °. Dulau. 1f,25.

ʀ (C.-W.). — On the Dependence of the Refractive Index Gases on Temperature. In-4°. Dulau. 1f,90.

ʀ (J.). — Introduction to Physical Chemistry. 3rd ed. In-8°, p. Macmillan. 12f,50.

ɴ (H.-A.). — On the Discharge of Electricity from Hot Platin. In-4°. Dulau. 1f,90.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

ws (C.-W.). — On the Evolution of the Proboscidea. In-4°. au. 1f,25.

Boulenger (G.-A.). — On Reptilian Remains from the Trias of Elgin. 5 Plates. In-4°. Dulau. 4f,40.

Browne (A.-J. Jukes-). — Memoirs of the Geological Survey of the United Kingdom. The Cretaceous Rocks of Britain. Vol. II. The Lower and Middle Chalk of England. In-8°, 568 p. Stanford. 12f,50.

Geikie (Sir A.). — Text-Book of Geology. 4th ed., revised and enlarged. 2 vols. In-8°, xxi-1472 p. Macmillan. 37f,50.

—— Outlines of Geology, an Introduction to the Science for Junior Students and General Readers. 4th ed., revised. With 400 Illusts. In-8°, 436 p. Stanford. 15 fr.

Hilton (H.). — Mathematical Crystallography, and the Theory of Groups of Movements. With illusts. In-8°, xii-262 p. Clarendon Press. 17f,50.

Hora (M.-H. de). — Mining and Geological Atlas of the Witwatersrand Goldfields. With Memoir and Index. In 8 Sheets, with Index and Description, and in other forms. Philip. 26f,25.

Johnston (Sir H.). — British Mammals. An Attempt to Describe and Illustrate the Mammalian Fauna of the British Islands from the commencement of the Pleistocene Period down to the Present Day. With 16 Coloured Plates, 66 Illusts, etc. In-8°, 422 p. Hutchinson. 15f,65.

Reade (T.-M.). — The Evolution of Earth Structure. With a Theory of Geomorphic Changes. In-8°, 358 p. Longmans. 26f,25.

Seward (A.-C.). — Fossil Floras of Cape Colony. 14 Plates and Engravings. (Extr. des *Annals of South African Museum*.) In-8°. Wesley. 12f,50.

Sollas (W.-J.). — A Method for the Investigation of Fossils by Serial Sections. In-4°. Dulau. 1f,25.

—— and (I.-B.-J.). — An Account of the Devonian Fish, Palæospondylus Gunni, Traquair. 2 Plates. In-4°. Dulau. 2f,50.

Stuart-Menteath (P.-W.). — Pyrenean Geology. Part I. The Alpine Paradoxes. In-8°, 16 p. 1f,25.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Bale (M.-P.). — Gas and Oil Engine Management. A Practical Guide for Users and Attendants. Being Notes on Selection, Construction and Management. In-8°, 118 p. Crosby, Lockwood and Son. 4f,40.

Bellasis (E.-S.). — Hydraulics with Working Tables. In-8°, 316 p. Rivingtons. 20 fr.

Clarke (J.-W.). — Pumps, their Principles and Construction. A Series of Lectures delivered at the Polytechnic Institute. 2nd ed., revised. With 73 Illusts. redrawn for this ed. In-8°, 176 p. Batsford. 4f,40.

Ewing (J.-A.). — The Strength of Materials. 2nd ed. In-8°, 260 p. Cambridge Univ. Press. 15 fr.

Garrett (H.-A.). — The Principles of Mechanism. Being a Short Treatise on the Kinematics and Dynamics of Machines. In-8°, 174 p. E. Arnold. 4f,40.

Hasluck (P.-N.). — The Automobile. A Practical Treatise on the Construction of Modern Motor Cars, Steam, Petrol, Electric, and Petrol-Electric. New ed. enlarged, completely rewritten up to date. With 804 Illusts. In-8°, 852 p. Cassell. 26f,25.

Hodgson (R.-B.). — Machines and Tools employed in the Working of Sheet Metals. In-8°, 322 p. Technical Pub. Co. 5f,65.

Horner (J.). — An Elementary Treatise on Hoisting Machinery. Including the Elements of Crane Construction and Descriptions of the Various Types of Cranes in Use. Illust. In-8°, 266 p. Crosby, Lockwood and Son. 9f,40.

Neilson (R.-M.). — The Steam Turbine. With Numerous Illusts. 2nd ed. Revised and Enlarged. In-8°, 312 p. Longmans. 13f,15.

Rowan (F.-J.). — The Practical Physics of the Modern Steam Boiler. With over 314 illusts. In-8°, 698 p. P. S. King. 26f,25.

Tookey (W.-A.). — Gas Engines. Their Advantages, Action and Application. Hints to Purchasers, Erectors and Attendants. In-16, 110 p. Merritt and Hatcher. 1f,25.

Tutton (A.-E.-H.). — The Elasmometer, a New Interferential Form of Elasticity Apparatus. In-4°. Dulau. 1f,90.

Unwin (W.-C.). — Report on the Influence of Gauge, Length, and Section of Test Bar on the Percentage of Elongation. In-fol. Crosby, Lockwood and Son. 3f,15.

Wansborough (W.-D.). — The Proportions and Movement of Slide Valves. In-8°, 172 p. Technical Pub. Co. 5f,65.

Wheeler (G.-U.). — Friction and Its Reduction. With 62 Illusts. In-8°, 180 p. Whittaker. 3f,75.

5° Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.

Copper Handbook (The). A Manual of the Copper Industry of the World. Vol. 3. In-8°. Gay and Bird. 28f,15.

Cremer (J.-H.). — Chemical and Metallurgical Handbook. 3rd e[d.] In-12. Paul, Trübner and Co. 22^{f},50.

Fleming (J.-A.). — A Handbook for the Electrical Laboratory an[d] Testing Room. Vol. 2. In-8°, 630 p. Electrician. 12^{f},50.

Hawkins (C.-C.). and Wallis (F.). — The Dynamo : Its Theory, Design, and Manufacture. With 413 Illusts. 3rd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 940 p. Whittaker. 18^{f},75.

Heycock (C.-J.) and Neville (F.-H.). — On the Constitution of the Copper-Tin Series of Alloys. 11 Plates. In-4°. Dulau. 9^{f},40.

Hiorns (A.-H.). — Steel and Iron for Advanced Students. In-8°, 530 p. Macmillan. 13^{f},15.

Leeds (F.-H.) and Butterfield (W.-J.-A.). — Acetylene : The Principles of its Generation and Use. A Practical Handbook of the Production, Purification, and Subsequent Treatment of Acetylene for the Development of Light, Heat, and Power. In-8°, 286 p. C. Griffin. 6^{f},25.

Lunge (G.). — A Theoretical and Practical Treatise on the Manufacture of Sulphuric Acid and Alkali with the Collateral Branches. 3rd ed. Revised and Enlarged. Vol. 1. 2 parts. In-8°, 1242 p. Gurney and Jackson. 65^{f},65.

Macleod (W.-A.) and Walker (C.). — Metallurgical Analysis and Assaying. A Three Years' Course for Students of Schools of Mines. With 109 Figures. In-8°, 330 p. C. Griffin. 15^{f},65.

Marks (E.-C.-R.). — The Manufacture of Iron and Steel Tubes. 2nd and enlarged ed. In-8°, 164 p. Technical Publishing Co. 6^{f},25.

Maycock (W.-P.). — Electric Lighting and Power Distribution. An Elementary Manual of Electrical Engineering. Vol. 2. 407 Illusts. and Complete Index. In-8°, 706 p. Whittaker. 9^{f},40.

—— Electric Wiring Tables. 2nd and revised ed. In-32. Whittaker. 4^{f},40.

Raphael (F.-C.). — The Localisation of Faults in Electric Light and Power Mains, with chapters on Insulation Testing. 2nd ed., revised. In-8°, 210 p. Electrician. 9^{f},40.

Smith (A.). — A Laboratory Outline of General Chemistry. 2nd ed. revised. In-8°, xii-107 p. Wesley. 4^{f},40.

Stansbie (J.-H.). — Introduction to Metallurgical Chemistry, for Technical Students. With 46 Illusts. In-8°, viii-200 p. Bristol, J. Wright. Simpkin. 5^{f},65.

Woodworth (J.-V.). — Hardening, Tempering, Annealing, and Forging of Steel. A Treatise on the Practical Treatment and Working of High and Low Grade Steel. With over 200 Illusts. In-8°, 288 p. Constable. 12^{f},50.

Young (S.). — Fractional Distillation. With 72 Illusts. In-8°, 295 p. Macmillan. 10f,65.

6° *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*

Brough (B.-H.). — A Treatise on Mine Surveying. 10 th ed., revised. With numerous Diagrams. In-8°, 388 p. C. Griffin. 9f,40.

Charleton (A.-G.). — Gold Mining and Milling in Western Australia. With Notes upon Telluride Treatment, Costs, and Mining Practice in other Fields. With numerous Illusts., Plans, and Tables. In-8°, 662 p. Spon. 31f,25.

Cox (S.-H.). — Prospecting for Minerals. A Practical Handbook. With Illusts. 3rd edit., revised. In-8°, 252 p. C. Griffin. 6f,25.

General Information with Regard to the Gold, Diamond, and Forest Industries of British Guiana. Issued by the Government of British Guiana. Edit. by the Secretary of the Institute of Mines and Forests of British Guiana. In-8°. Georgetown, Baldwin.

Parliamentary. — Coal Tables, 1902. Statistical Tables showing the Production, Consumption, etc., in the United Kingdom and the World. 0f,65.

—— Mines. General Report for 1902. Part I. District Statistics. 0f,75.

—— —— Part 2. Labour. 1f,05.

—— Mines and Quarries. General Report and Statistics for 1902. Part 3. Output. 1f,90.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Allen (C.-F.). — Field and Office Tables. Specially Applicable to Railroads. In-12. Spon. 10f,65.

—— Railroad Curves and Earthwork. 3rd ed. With Tables. In-12. Spon. 10f,65.

Beavan (A.-H.). — Tube, Train, Tram, and Car : or, Up-to-Date Locomotion. With many Illusts., and an Introduction by *Llewellyn Preece*. In-8°, XVIII-291 p. Routledge. 7f,50.

Bowker (W.-R.). — Practical Construction of Electric Tramways. In-8°, 128 p. Spon. 7f,50.

Locomotives of the London, Brighton and South Coast Railway. 1839-1903. With 8 Full-page Illusts. and 146 Illusts. in the Text. In-8°, 254 p. Locomotive Pub. Co. 6f,25.

Parliamentary. — Railway Accidents. Returns and Reports for January-March, 1903. 6f,60.

Parliamentary. — Railway Returns for 1902, and General Report of the Board of Trade. 1f,60.

RIDER (J.-H.). — Electric Traction A Practical Handbook on the Application of Electricity, as a Locomotive Power. With 194 Illusts. In-8°, 470 p. Whittaker and Co. 13f,15.

8° *Objets divers*.

BOOTH (W.-H.). — Liquid Fuel and its Combustion. Illust. In-8°, xx-411 p. Constable. 30 fr.

BUCHANAN (J.-F.). — Foundry Nomenclature : The Moulder's Pocket Dictionary. A Concise Guide to the Facts, Phrases, and Terms relating to Foundry Practice and Foundryology. In-8°, 234 p. Spon. 6f,25.

RANSOME (S.). — The Engineer in South Africa. A Review of the Industrial Situation in South Africa after the War and a Forecast of the Possibilities of the Country. Illust. In-8°, xv-320 p. Constable. 9f,40.

WAGSTAFF (G.-J.-L.) and BLOOMER (G.-C.). — Mensuration, Mechanics and Hydrostatics. In-4°. Simpkin. 1f,90.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

BARNS (C.). — The Structure of the Nucleus : A continuation « Experiments with Ionized Air ». Illust. (Smithsonian Ins In-8°. Wesley. 7f,50.

BROOKS (A.-H.). — Preliminary Report on the Ketchikan Minin District, Alaska, with an Introductory Sketch of the Geology South-Eastern Alaska. (U. S. Geol. Surv. Professional Pape n° 1.) With Maps. In-4°, 120 p. Washington, Government Prin ing Office.

DILLER (J.-S.) and PATTON (H.-B.). — The Geology and Petrogra phy of Crater Lake, National Park. (U. S. Geol. Surv., Profe sional Paper n° 3.) With Illusts and Maps. In-4°, 167 p. Wash ington, Government Printing Office.

HOLMES (W.-H.). — Flint Implements and Fossil Remains from

Sulphur Spring at Afton, Indian Territory. 26 Plates. Smithsonian Inst.) In-8°, 20 p. Wesley. 3f,15.

Howe (H.-M.) — Iron, Steel, and other Alloys. In-8°. xviii-457 p. av. 120 fig. Boston, Sauveur and Whiting.

Leith (C.-K.). — The Mesabi Iron-bearing District of Minnesota. (*Monographs of the U. S. Geol. Survey.*) With Maps and Illusts. In-4°, 316 p. Washington, Government Printing Office.

Smith (J.-P.). — The Carboniferous Ammonoids of America. (*Monographs of the U. S. Geol. Survey.*) With Illusts. In-4°. 211 p. Washington, Government Printing Office.

United States Geological Survey (Bulletin of the). — N° 191. North American Geologic Formation Names, Bibliography, Synonymy and Distribution. By *Weeks*. — N° 195. Structural Details in the Green Mountain Region and in Eastern New-York. Illust (Second Paper). By *Dale*. — N° 198. The Berea Grit Oil Sand in the Cadiz Quadrangle, Ohio. By *Griswold*. With Map. — N° 199. Underground Waters 18. Geology and Water Ressources of the Snake River Plains of Idaho. By *Russell*. With Map and Illusts. — N° 200. Reconnaissance of the Borax Deposits of Death Valley and Mohave Desert. By *Campbell*. With Map. — N° 202. Tests for Gold and Silver in Shales from Western Kansas. By *W. Lindgren*. — N° 203. Bibliography and Index of North American Geology, Paleontology, Petrology, and Mineralogy for the year 1901. By *F.-B. Weeks*. — N° 204. Fossil Flora of the John Day Basin, Oregon. By *F.-H. Knowlton*. Illust. — N° 205. The Mollusca of the Buda Limestone. By *G.-B. Shattuck*. With an Appendix on the Corals of the Buda Limestone. By *T.-W. Vaughan*. With Map and Illusts. — N° 206. A Study of the Fauna of the Hamilton Formation of the Cayuga Lake Section in Central New-York. By *H.-F. Cleland*. With Map and Illusts. — N° 207. The Action of Ammonium Chloride upon Silicates. By *F. Wigglesworth Clarke* and *G. Steiger*. In-8°. Washington, Government Printing Office.

United States Geological Survey, Water Supply, and Irrigation Papers. — N° 70. Geology and Water Resources of the Patrick and Goshen Hole Quadrangles, Wyoming, Nebraska. By *G.-I. Adams*. — N° 78. Preliminary Report on Artesian Basins in South Western Idaho and South Eastern Oregon. By *I.-C. Russell*. In-8°. Washington, Government Printing Office.

United States Mineral Resources, 1901. In-8°, 996 p. Washington. Government Printing Office.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BAUER (G.). — Vorlesungen über Algebra. Hrsg. vom mathem. Verein München. In-8°, VI-375 p. av. 11 fig. et 1 portrait. Leipzig, B.-G. Teubner. 16f,25.

BOHLIN (K.). — 2. Mitteilung üb. nichtverschwindende Funktionen. (Extr. des *Arkiv f. Matematik.*) In-8°, p. 185-199. Stockholm. 0f,90.

BURKHARDT (H.). — Funktionentheoretische Vorlesungen. Bd. I. 2. Heft. Einführung in die Theorie der analyt. Funktionen e. Komplexen Veränderlichen. 2., durchges. u. teilw. umgearb. Aufl. In-8°, XII-227 p. av. fig. Leipzig, Veit u. Co. 7f,75.

DÜHRING (E.). u. U. DÜHRING. — Neue Grundmittel u. Erfindungen zur Analysis, Algebra, Functionsrechnung u. zugehörigen Geometrie, sowie Principien zur mathematischen Reform. 2. Thl.: Transradicale Algebra u. entsprech. Lösg. der allgemeinen auch überviergrad. Gleichgn. In-8°, XII-147 p. Leipzig, O.-R. Reisland. 5 fr.

FROBENIUS (G.). — Theorie der hyperkomplexen Grössen. II. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 12 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

—— Über e. Fundamentalsatz der Gruppentheorie. (Extr. du même recueil.) In-8°, 5 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

FUETER (R.). — Der Klassenkörper der quadratischen Körper u. die complexe Multiplication. In-8°, III-71 p. Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 2f,50.

GREILACH (S.). — Zur Quadratur des Kreises. In-8°, 42 p. av. fig. St-Paul. 1f,25.

HAGEN (J.-G.). — Synopsis der höheren Mathematik. III. Bd. Differential u. Integralrechng. 4. Lfg. In-4°, p. 129-256. Berlin, F.-L. Dames. 6f,25.

HAHN (H.). — Über die Lagrangesche Multiplikatorenmethode in der Variationsrechnung. (Extr. des *Monatshefte f. Mathematik u. Physik.*) In-8°, p. 325-342. Vienne, J. Eisenstein u. Co. 1f,25.

HEFNER-ALTENECK (F. v.). — Über dieunmittelbare Beeinflussung v. Pendelschwingungen durch äussere Kräfte. (Extr. des S

Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.) In-8°, 10 p. av. fig. Berlin, G. Reimer. $0^f,65$.

HELFENSTEIN (A.). — Die Energie u. ihre Formen. Kritische Studien. In-8°, IV-152 p. Vienne, F. Deuticke. $5^f,25$.

HILBERT (D.). — Grundlagen der Geometrie. 2., durch Zusätze verm. u. m. fünf. Anh. verseh. Aufl. In-8°, V-175 p. av. fig. Leipzig, B.-G. Teubner. $6^f,50$.

JÄGER (G.). — Zwei Wege zum Maxwell'schen Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten der Gasmolekeln. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 10 p. av. 1 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. $0^f,40$.

KANTOR (S.). — Neue Grundlagen f. die Theorie u. Weiterentwickelung der Lie'schen Funktionengruppen. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 60 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. $1^f,40$.

——— Über e. neue Klasse gemischter Gruppen u. e. Frage üb. die birationalen Transformationen. (Extr. du même recueil.) In-8°, 88 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. $1^f,25$.

——— Die linearen Systeme linearer Strahlenkomplexe im R_r. (Extr. du même recueil. In-8°, 63 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. $1^f,50$.

KIEPERT (L.). — Tabelle der wichtigsten Formeln aus der Integral-Rechnung. (Extr. de *Grundriss der Integral-Rechng.* 8. verb. u. verm. Aufl. des gleichnam. Leitfadens v. *M. Stegemann.*) In-8°, 47 p. Hanovre, Helwing. $0^f,65$.

KOHN (G.). — Über kubische Raumkurven. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 14 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. $0^f,40$.

KÖNIG (J.). — Einleitung in die allgemeine Theorie der algebraischen Grössen. In-8°, X-564 p. Leipzig, B.-G. Teubner. $22^f,50$.

KORN (A.). — Ueber e. mögliche Erweiterung des Gravitationsgesetzes. I. Abhandlg. (Extr. des *Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wiss.*) In-8°, p. 383-434. Münich, G. Franz. $1^f,50$.

KRONECKER (L.). — Vorlesungen üb. Mathematik (In 2 Tln.) II. Tl. Vorlesungen üb. allgemeine Arithmetik. 2. Abschn.: Vorlesungen üb. die Theorie der Determinanten. Bearb. u. fortgeführt v. *K. Hensel.* 1. Bd. 1. bis 21. Vorlesg. In-8°, XII-390 p. av. 11 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 25 fr.

LANDAU (E.). — Über die zahlentheoretische Funktion μ (k). (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 34 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. $0^f,90$.

——— Über die Primzahlen e. arithmetischen Progression. (Extr.

du même recueil.) In-8°, 43 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1 fr.

MASON (C.-M.). — Randwertaufgaben bei gewöhnlichen Differentialgleichungen. In-8°, IV-75 p. Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 2f,50.

MERCHICH (M.). — De veris geometriæ integræ principiis contra geometras Euclideos simul et Noneuclideos. In-8°, 37 p. Zagrabiæ. 1f,25.

MÖLLER (J.). — Elementare Herleitung der elliptischen Funktionen. (Extr. des *Arkiv f. matematik, astronomi och fysik.*) In-8°, p. 117-148. Stockholm. 1f,25.

MÜLLER (J.-O.). — Ueber die Minimaleigenschaft der Kugel. In-8°, 51 p. av. fig. Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 1f,75.

OTTO (F.-A.). — Die Auflösung der Gleichungen m. Berücksichtigung der neuesten Fortschritte. 4. Aufl. In-8°, 63 p. Düsseldorf, F.-A. Otto. 3f,75.

SCHLOTKE (D.-J.). — Lehrbuch der Differential- u. Integralrechnung. In-8°, VI-256 p. av. 106 fig. Dresde, G. Kühtmann. 9f,75.

SCHOTTKY (F.). — Über die Abel'schen Functionen v. drei Veränderlichen. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 9 p. Berlin, G. Reimer. 0,65.

SOBOTKA (J.). — Zur Construction v. Osculationshyperboloiden an windschiefe Flächen. (Extr. des *Sitzungsber. d. böhm. Gesellsch. d. Wiss.*) In-8°, 11 p. Prague, F. Rivnác. 0f,25.

—— Ueber das e. Fläche 2. Grades umschriebene Viereck. (Extr. du même recueil.) In-8°, 8 p. av. 1 fig. Prague, F. Rivnac. 0f,25.

—— Zum Normalenproblem der Kegelschnitte. 1. Mitteilg. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 27 p. av. 2 pl. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1f,25.

SOHNCKE (L.-A.). — Sammlung v. Aufgaben aus der Differential- u. Integralrechnung. 1. Tl. Differentialrechnung. Hrsg. v. *H. Amstein*. 6. verb. Aufl., bearb. v. *M. Lindow*. In-8°, XI-30 p. av. 124 fig. Halle, H.-W. Schmidt. 6f,25.

STOLZ (O.). — Ein Satz der Integralgeometrie. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 1 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,15.

STEPHANSEN (E.). — Von der Bewegung e. Continuums m. e. Ruhepunkte. (Extr. des *Archiv f. Mathematik og Naturvidensk.*) In-8°, 29 p. Christiania, A. Cammermeyer. 2f,15.

TACHAUER (A.). — Über diejenigen Flächen, auf denen zwei Scharen geodätischer Linien e. conjugiertes System bilden. In-8°, 68 p. av. 1 pl. Würzburg, F. Freudenberger. 2f,50.

TETMAJER (L. v.). — Die angewandte Elastizitäts- u. Festigkeitslehre. Auf Grund der Erfahrg. bearb. 2., vollständig umgearb.

Aufl. In-8°, xv-565 p. av. 274 fig. et 10 pl. Vienne, F. Deuticke. 20 fr.

Venske (O.). — Zur Theorie derjenigen Raumcurven, bei welchen die erste Krümmung e. gegebene Function der Bogenlänge ist. (Extr. des *Sitzungsber. der preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 10 p. av. 3 fig. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

Wiman (A.). — Über die angenäherte Darstellung v. ganzen Funktionen. (Extr. des *Arkiv f. matematik, astronomi och fysik.*) In-8°, p. 105-111. Stockholm. 0f,65.

——— Note üb. die ganzen Funktionen zweier Veränderlichen. (Extr. du même recueil.) In-8°, p. 113-116. Stockholm. 0f,65.

2° Physique et Chimie.

Bäcklund (A.-V.). — Über die magneto-optischen Erscheinungen. (Extr. des *Arkiv f. matematik, astronomi och fysik.*) In-8°, 23 p. Stockholm. 1f,15.

Beilstein (F.). — Organ. Chemie. 3. Afl. Ergänzgsbde. Hrsg. v. *P. Jacobson*. 35. u. 36. Lfg. Hambourg, Voss.

Billitzer (J.). — Elektrische Doppelschicht u. absolutes Potential. Eine kontaktelektr. Studie. (Extr. des *Sitzunsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 44 p. av. 2 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1f,15.

——— Über die Elektrizitätserregung durch die Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten. Kontaktelektrische Studien (II). (Extr. du même recueil.) In-8°, 24 p. av. 3 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,75.

Bloch (E.). — Alfred Werners Theorie des Kohlenstoffatoms u. die Stereochemie der karbocyklischen Verbindungen. In-8°, iv-88 p. av. 48 fig. et 3 pl. Vienne, C. Fromme. 3f,75.

Bornemann (K.). — Beiträge zur Kenntnis des Wasserstoffsuperoxyds. In-8°, 46 p. av. 6 fig. Leipzig. Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 1f,50.

Brunner (E.). — Reaktionsgeschwindigkeit in heterogenen Systemen. In-8°, 66 p. Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 2f,25.

Christiansen (C.). u. J.-C. Muller. — Elemente der theoretischen Physik. Mit e. Vorwort v. *E. Wiedemann*. 2., verb. Aufl. In-8°, viii-532 p. av. 160 fig. Leipzig, J.-A. Barth. 12f,50.

Classen (A.). — Ausgewählte Methoden der analytischen Chemie. 2. (Schluss-) Bd. Unter Mitwirkg. v. *H. Cloeren*. In-8°, xvi-831 p. av. 133 fig. et 2 pl. de spectres. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 25 fr.

Donath (B.). — Die Einrichtungen zur Erzeugung der Roentgen-

strahlen. 2., verb. u. verm. Aufl. In-8°, VII-244 p. av. 140 fig. et 3 pl. Berlin, Reuther u. Reichard. 8f,75.

EDER (J.-M.). — Das Flammen- u. Funkenspectrum des Magnesiums. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-4°, 10 p. av 1 pl. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1f,75.

—— Photometrische Untersuchung der chemischen Helligkei v. brennendem Magnesium, Aluminium u. Phosphor. (Extr des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 12 p. Vienne C. Gerold's Sohn. 0f,40.

EHRENHAFT (F.). — Das optische Verhalten der Metallkolloide u deren Teilchengrösse. (Extr. du même recueil.) In-8°, 29 p av. 2 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,90.

EMICH (F.). — Über die Bestimmung v. Gasdichten bei hohe Temperaturen. (I. Mitteilg.) (Extr. du même recueil.) In-8° 18 p. av. 3 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,65.

ERICSON-AURÉN (T.) u. W. PALMAER. — Über die Auflösung v Metallen. II. (Extr. des *Arkiv f. kemi, mineralogi och geologi.* In-8°, p. 93-110. Stockholm. 0f,75.

EULER (H.). — Über Ammoniak u. Metallammoniakbasen. I. (Extr du même recueil.) In-8°, p. 77-91. Stockholm. 0f,75.

EXNER (F.) u. E. HASCHEK. — Wellenlängen-Tabellen f. spektral analytische Untersuchungen auf Grund der ultravioletter Bogenspektren der Elemente. 2 Tle. In-8°, II-89 et 213 p Vienne, F. Deuticke. 31f,25.

FRESENIUS (C.-R.). — Anleitung zur quantitativen chemischer Analyse. 6. stark verm. u. verb. Aufl. (In 2 Bdn.) 1. Bd. In-8° XVIII-668 p. av. fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 15 fr.

GLASER (F.). — Über Reduktion v. Metalloxyden im Wasserstoff strom. In-8°, 41 p. av. 1 fig. Leipzig. Göttingen, Vandenhoeck u Ruprecht. 1f,25.

GRÄFENBERG (L.). — Beiträge zur Kenntnis des Ozons. In-8°, 58 p Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 1f,50.

GRAY (A.-W.). — Über Ozonisirung durch stille elektrische Entla dungen im Siemen'schen Ozonapparat. (Extr. des *Sitzungsber d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 5 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65

HELMERT (F.-R.). — Über die Reduction der auf der physischer Erdoberfläche beobachteten Schwerebeschleunigungen auf e gemeinsames Niveau. 2. Mittheilg. (Extr. des *Sitzungsber d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 18 p. Berlin, G. Reimer 1f,25.

HERZ (W.). — Chemische Verwandtschaftslehre. Die Lehre v. der Gleichgewichten in homogenen u. heterogenen Systemen u. v

der Reaktionsgeschwindigkeit. (Extr. de *Sammlg. chem. u. chemisch-techn. Vortrage.*) In-8°, 60 p. Stuttgart, F. Enke. 1f,50.

Herz (W.). — Über die Lösungen. Einführung in die Theorie der Lösgn., die Dissozationstheorie u. das Massenwirkungsgesetz. Nach Vorträgen. In-8°, v-50 p. Leipzig, Veit u. Co. 1f,75.

Hildebrandt (H.). — Lehrbuch der anorganischen Chemie. In-8°, iv-201 p. av. 103 fig. Hanovre, Gebr. Jänecke. 4 fr.

Hinden (H.). — Ueber deformierte Wechselströme m. besond. Berücksicht. eisengeschlossener Apparate. Av. 16 fig. et 3 pl. — *Marx* (*E.*). — Ueber wahre u. scheinbare Abweichungen vom Ohmschen Gesetz. Av. 3 fig. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vortr.*) In-8°, 68 p. Stuttgart, F. Enke. 3 fr.

Hlasiwetz (H.) — Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse. Zum Gebrauche bei den prakt. Übgn. im Laboratorium. 13. Aufl., durchgesehen u. ergänzt v. *G. Vortmann* In-8°, v-51 p. Vienne, F. Deuticke. 1f,25.

Hoff (J.-H. van't). — Vorlesungen üb. theoretische u. physikalische Chemie. 3. Heft. In-8°, x-155 p. av. fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 5 fr.

Hohage (K.). — Ueber einige Anwendungen des Elektrometers bei Wechselstrommessungen. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vortrage.*) In-8°, 30 p. avec 11 fig. Stuttgart, F. Enke. 1f,50.

Ites (P.). — Ueber die Abhängigkeit der Absorption des Lichtes v. der Farbe in krystallisierten Körpern. Gekrönte Preisschrift. In-8°, 82 p. Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht. 2f,50.

Jörgensen (S.-M.). — Grundbegriffe der Chemie, an Beispielen u. einfachen Versuchen erläutert. In-8°, iv-196 p. av. 13 fig. Hambourg, L. Voss. 2f,50.

Kayser (H.). — Die Bogenspectren v. Yttrium u. Ytterbium. (Extr. des *Abh. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-4°, 18 p. Berlin, G. Reimer. 1f,25.

Krauss (L.). — Über Metalltitrationen mittelst Jodsäure. In-8°, 37 p. Freiburg i. B., Speyer u. Kaerner. 1f,50.

Kutscher (F.). u. Zickgraf (G.). — Die Bildung v. Guanidin bei Oxydation v. Leim m. Permanganaten. Mitgeteilt v. Dr. *F. Kutscher*. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 6 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

Lecher (E.). — Über die Messung der Leitfähigkeit verdünnter Luft mittelst des sogenannten elektrodenlosen Ringstromes. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 15 p. av. 9 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,50.

Lepel (F. v.). — Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffes,

insbesondere durch elektrische Entladungen. In-8°, III-42 p. Greisswald, J. Abel. 1f,25.

Meyer (V.) u. P. Jacobson. — Lehrbuch der organischen Chemie. II. Bd. Cyclische Verbindgn. — Naturstoffe. 2. Thl. Mehrkernige Benzolderivate. In Gemeinschaft m. *P. Jacobson* bearb. v. *A. Reissert*. 2. Abth. In-8°, XIV p. et p. 289-664. Leipzig, Veit u. Co. 12f,50.

Miller (A.). — Vergleich der elektrischen Kontakt- u. Influenzwirkung. In-8°, 16 p. Münich, M. Kellerer. 1f,25.

Müller (K.). — Ueber die Aciditätsdifferenz mehrbasischer Carbonsäuren. In-8°, 47 p. Tübingen, F. Pietzcker. 1f,25.

Miller (W. v.) u. H. Kiliani. — Kurzer Lehrbuch der analytischen Chemie. 5 verb. Aufl. Bearb. v. *H. Kiliani*. In-8°, XI-639 p. av. 96 fig. et 1 pl. de spectres. Münich, T. Ackermann. 12f,50.

Müller-Erzbach (W.). — Der Dampfdruck des Wasserdampfe nach der Verdampfungsgeschwindigkeit. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 6 p. Vienne, C. Gerold's Sohn 0f,25.

Nernst (W.). — Theoretische Chemie vom Standpunkte der Avogadroschen Regel u. der Thermodynamik. 4. Aufl. In-8°, XIV-750 p. av. 36 fig. Stuttgart, F. Enke. 20 fr.

Ostwald (W.). — Die Schule der Chemie. Erste Einführg. in die Chemie f. Jedermann. I. Tl. Allgemeines. In-8°, VIII-186 p., av. 46 fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 6 fr.

—— Lehrbuch der allgemeinen Chemie. (In 2 Bdn.) I. Bd. u. II. Bds. I. Tl. 2., umgearb. Aufl. 2. Abdr. In-8°, XIX-1164 p. av. 173 fig. et XV-1104 p. av. 77 fig. Leipzig, W. Engelmann. 25 fr. et 42f,50.

Pictet (R.). — Die Theorie der Apparate zur Herstellung flüssiger Luft m. Entspannung. In-8°, II-86 p. Weimar, C. Steinert. 2 fr.

Posner (T.). — Lehrbuch der synthetischen Methoden der organischen Chemie. Für Studium u. Praxis. In-8°, XXXII-436 p. Leipzig, Veit u. Co. 12f,50.

Ramsay (Sir W.). — Einige Betrachtungen üb. das periodische Gesetz der Elemente. Vortrag. In-8°, 29 p. av. 1 fig. Leipzig, J.-A. Barth. 1f,25.

Schell (A.). — Die Bestimmung der optischen Konstanten e. zentrierten sphärischen Systems m. dem Präzisionsfokometer. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 34 p. av. 7 Vienne, C. Gerold's Sohn. 1 fr.

Schmidt (J.). — Über die basischen Eigenschaften des Sauerst. u. Kohlenstoffs. In-8°, VI-141 p. Berlin, Weidmann. 4 fr.

Schoop (M.-U.). — Ein Beitrag zur Kenntnis der Diffusionsvorgänge an Akkumulatorelektroden. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vortr.*) In-8°, 32 p. av. 13 fig. Stuttgart, F. Enke. 1f,50.

Stange (A.). — Die Zeitalter der Chemie in Wort u. Bild. 1. Tl. : Die ältesten Kenntnisse v. der Materie. 2. Tl. : Die philosoph. Anschaugn. der Griechen u. die Frage nach den Elementen. 1. Lfg. In-8°, p. 1-42 av. fig. Leipzig, P. Schimmelwitz. 1f,90.

Stark (J.). — Die Dissoziierung u. Umwandlung chemischer Atome. In-8°, VIII-57 p. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 1f,90.

Tammann (G.). — Kristallisieren u. Schmelzen. Ein Beitrag zur Lehre der Ändergn. des Aggregatzustandes. In-8°, X-348 p. av. 88 fig. Leipzig, J.-A. Barth. 10 fr.

Toeche Mittler (S.). — Zur Molekulargewichtsbestimmung nach dem Seideverfahren. In-8°, 57 p. av. 4 fig. et 3 pl. Berlin, E. S. Mittler u. Sohn. 3f,15.

Treadwell (F.-P.). — Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemie in 2. Bdn. 1. Bd. Qualitative Analyse. 3. verm. u. verb. Aufl. In-8°, XIII-444 p. av. 14 fig. et 1 pl. de spectres. Vienne, F. Deuticke. 10 fr.

Warburg (E.). — Über die Ozonisirung des Sauerstoffs durch stille elektrische Entladungen. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 5 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

Wassmuth (A.). — Über die bei der Biegung v. Stahlstäben beobachtete Abkühlung. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 13 p. av. 1 fig. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,50.

Wiebe (H.-F.). — Tafeln üb. die Spannkraft des Wasserdampfes zwischen 76 u. 101,5 Grad bezogen auf das Luftthermometer, m. e. Beiblatt, enth. die Correctionen auf das Wasserstoff-Thermometer. Auf Grund der Ergebnisse neuer Versuche berechnet u. hrsg. 2. verm. Ausg. In-8°, IX-II-30 p. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 2f,50.

Wislicenus (W.). — Die Lehre v. den Grundstoffen. Antrittsrede bei Uebernahme der ordentl. Professur der Chemie an der Hochschule zu Tübingen. In-8°, 30 p. Tübingen, F. Pietzcker. 1 fr.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Abel (O.). — Zwei neue Menschenaffen aus den Leithakalkbildungen der Wiener Beckens. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad.*

d. Wiss.) In-8°, 37 p. av. 2 fig. et 1 pl. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1 fr.

Bauer (M.). — Vorläufiger Bericht üb. weitere Untersuchungen im niederhessischen Basaltgebiet. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 5 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

—— Lehrbuch der Mineralogie. 2. völlig neubearb. Aufl. In-8°, xii-924 p. av. 670 fig. Stuttgart, E. Schweizerbart. 18f,75.

Behme (F.). — Geologischer Führer durch die Umgebung der Stadt Goslar am Harz. 3. Aufl. In-8°, 165 p. av. 226 fig. et 2 cartes géol. Hanovre, Hahn. 1f,75.

—— Geologischer Führer durch die Umgebung der Stadt Harzburg. 2. Aufl. In-8°, 151 p. av. fig. et 1 carte géol. Hanovre, Hahn. 1f,75.

Bistram (A. v.). — Beiträge zur Kenntnis der Fauna des unteren Lias in der Val Solda. Geologisch-paläontolog. Studien in der Comasker Alpen. I. (Extr. des *Berichte d. naturforsch. Gesellsch. zu Freiburg i. B.*) In-8°, 99 p. Freiburg i. B. 5 fr.

Branco (W.). — Die Gries-Breccien des Vorrieses als v. Spalten unabhängige, früheste Stadien embryonaler Vulcanbildung. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 9 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

—— Zur Spaltenfrage der Vulcane. (Extr. du même recueil.) In-8°, 22 p. Berlin, G. Reimer. 1f,25.

Brauns (R.). — Das Mineralreich. (En 30 livraisons.) 1. Lfg. In-4°, ii p. et p. 1-24 av. fig. et 91 pl. Stuttgart, F. Lehmann. 1f,90.

—— Das Mineralreich. 2-5 Lfg. Stuttgart, F. Lehmann. 1f,90.

Cohen (E.). — Meteoritenkunde. 2. Heft. Structurformen; Ve r-suche künstl. Nachbildg. v. Meteoriten; Rinde u. schwar ze Adern; Relief der Oberfläche; Gestalt, Zahl u. Grösse der Mete o-rite; Nachträge zu Heft 1. In-8°, vii-302 p. Stuttgart, E. Schwe i-zerbart. 12f,50.

Dannenberg (A.). — Der Monte Ferru in Sardinien. I. (Extr. d *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 15 p. Berli G. Reimer. 0f,65.

Doelter (C.). — Der Monzoni u. seine Gesteine. (I. u. II. Th (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 125 p. a 3 fig., 3 pl. et 1 carte. Vienne, C. Gerold's Sohn. 4f,25.

Durch Asien. Erfahrungen, Forschgn. u. Sammlgn. während d r v. Dr. Holderer unternommenen Reise. Hrsg. v. K. *Futter* III. Bd. 3. Lfg. In-8°, 161 p. Berlin, D. Reimer. 12f,50.

Fraas (E.). — Führer durch das kgl. Naturalien-Kabinett Stuttgart. I. Die geognost. Sammlg. Württembergs im Pa

terre-Saal, zugleich e. Leitfaden f. die geolog. Verhältnisse u. die vorweltl. Bewohner unseres Landes. In-8°, 82 p. av. fig. et 8 pl. Stuttgart, E. Schweizerbart. 0f,65.

Hoek (H.). — Geologische Untersuchungen im Plessurgebirge um Arosa. (Extr. des *Berichte d. naturforsch. Gesellsch. zu Freiburg i. B.*) In-8°, 56 p. av. cartes, coupes et figures. Freiburg i. B. 5 fr.

Hoff (J.-H. van't). — Untersuchungen üb. die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen. XXXII-XXXIII. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 7 p. av. fig., et 11 p. Berlin, G. Reimer. Chaque fascicule 0f,65.

Hofmann (A.). — Über den Pyrolusit v. Narysov. (Extr. des *Sitzungsber. d. böhm. Gesellsch. d. Wiss.*) In-8°, 5 p. av. 1 fig. Prague, F. Rivnác. 0f,15.

Jakowlew (N.). — Die Fauna der oberen Abtheilung der palaeozoischen Ablagerungen im Donez-Bassin. I. Die Lamellibranchiaten. (Extr. des *Mémoires du Comité géologique de Russie.*) In-4°, III-44 p. av. fig. et 2 pl. St-Pétersbourg. 2f,70.

Karte, geognostische, des Königr. Bayern. Hrsg. im Auftrage des kgl. bayer. Staatsministeriums des Innern. Blatt Zweibrücken (Nr. XIX). Unter Mitwirkg. des Landesgeol. Dr. *O. Reis* ausgearb. v. Oberbergr. Prof. Dr. *L. Ammon.* Münich, Piloty u. Loehle. 30 fr. — Explications : In-8°, XI-182 p. av. fig. 7f,50.

Katzer (F.). — Geologischer Führer durch Bosnien u. die Hercegowina. Hrsg. anlässlich des II. internationalen Geologen-congresses v. der Landesregierg. in Sarajevo. In-8°, III-280 p. av. fig. et 8 cartes. Sarajevo. 6f,25.

—— Grundzüge der Geologie des unteren Amazonasgebietes (des Staates Pará in Brasilien). In-8°, III-298 p. av. fig., 1 carte et 16 pl. Leipzig, M. Weg. 17f,50.

Klockmann (F.). — Lehrbuch der Mineralogie. 3., verb. u. verm. Aufl. In-8°, XII-588 et 41 p. av. 522 fig. Stuttgart, F. Enke. 17f,50.

Krahmann (M.). — Fortschritte des praktischen Geologie. 1. Bd. 1893 bis 1902. Zugleich General-Register der Zeitschrift f. prakt. Geologie. Jahrg. I bis X, 1893 bis 1902. In-8°, XXII-410 p. av. 136 cartes et 45 tableaux. Berlin, J. Springer. 22f,50.

Kranz (W.). — Geologischer Führer f. Nagold u. weitere Umgebung bis Calw, Herrenberger Stadtwald, Horb u. Altensteig. In-8°, VI-56 p. av. 5 fig. Nagold, G.-W. Zaiser. 1f,25.

Langenhan (A.). — Versteinerungen der deutschen Trias (des

Buntsandsteins, Muschel-Kalks u. Keupers). In-8°, 22 p. av. fig. et 17 pl. Liegnitz, E. Scholz. 3f,15.

Laskarew (W.). — Die Fauna der Buglowka-Schichten in Volhynien. (Extr. des *Mémoires du Comité géologique de Russie.*) In-4°, iv-148 p. av. 5 pl. et 1 carte. St-Pétersbourg. 7 fr.

Lepsius (R.). — Geologie v. Deutschand u. den angrenzenden Gebieten. II. Tl. Das östl. u. nördl. Deutschland. 1. Lfg. In-8°, ii-246 p. av. 58 profils. Leipzig, W. Engelmann. 10 fr.

Lethæa geognostica. Handbuch der Erdgeschichte m. Abbildgn. der f. die Formationen bezeichnendsten Versteinergn. Hrsg. v. e. Vereinigg. v. Geologen unter der Red. v. *F. Frech.* III. Thl. Das Caenozoicum. 2. Bd. Quartär. 1. Abth. Flora u. Fauna des Quartärs v. *Fr. Frech* m. Beiträgen v. *E. Geinitz.* Das Quartär Nordeuropas v. *E. Geinitz.* 1. Lfg. In-8°, 144 p. av. fig., planches et cartes. Stuttgart, E. Schweizerbart. 26f,25.

Martin (K.). — Reisen in den Molukken, in Ambon, den Uliassern, Seran (Ceram) u. Buru. Geologischer Thl. 3. Lfg. Buru u. seine Beziehgn. zu den Nachbarinseln. In-8°, ix p. et p. 201-296, av. 1 carte et 7 pl. Leyde, E.-J. Brill. 6f,25.

Martini u. Chemnitz. — Conchylien-Cabinet. 483. u. 485. Lfg. Nüremberg, Bauer u. Raspe. Chaque livraison 11f,25.

—— —— Sect. 158-160. Nüremberg, Bauer u. Raspe. Chaque sect. 33f,75.

Osann (A.). — Beiträge zur chemischen Petrographie. 1. Tl. Molekularquotienten zur Berechng. v. Gesteinsanalysen. In-4°, v p. et 101 doubles p. Stuttgart, C. Schweizerbart. 11f,25.

Pantocsek (J.). — Beiträge zur Kenntnis der fossilen Bacillarien Ungarns. 2. verb. Aufl. 3 Tle. In-8°, 77-123 p. av. 102 pl. Berlin, W. Junk. 312f,50.

Redlich (K.-A.). — Anleitung zur Löthrohranalyse. 2., umgearb. Aufl. In-12, iv-32 p. av. 8 fig. Leoben, L. Nüssler. 1f,25.

Schirmeisen (K.). — Systematisches Verzeichnis mährisch-schlesischer Mineralien u. ihrer Fundorte. (Extr. des *Jahresber. d. Lehrerklubs f. Naturkde. in Brünn.*) In-8°, 66 p. Brünn, C. Winiker. 1f,50.

Schlosser (M.). — Die fossilen Säugethiere Chinas nebst e. Odontographie der recenten Antilopen. (Extr. des *Abhandlgn. d. bayer. Akad. d. Wiss.*) In-4°, 221 p. av. 32 fig. et 14 pl. Münich, G. Franz. 20 fr.

—— Eine untermiocäne Fauna aus dem Teplitzer Braunkohlenbecken, m. Bemerkgn. üb. die Lagerungs- u. Altersverhältnisse der Braunkohlengebilde im Teplitzer Becken v. J.-E. Hibsch.

(Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 30 p. av. 2 pl. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1f,40.

.hmidt (A.). — Die Mineralien des Fichtelgebirges u. des Steinwaldes. In-8°, 84 p. Bayreuth, Grau. 1f,90.

laler (N.-S.). — Elementarbuch der Geologie f. Anfänger. Übers. von *C. v. Karczewska.* In-8°, 308 p. av. fig. Dresde, H. Schultze. 3f,75.

pezialkarte, geognostische, v. Württemberg. Hrsg. im Maasstab 1 : 50,000 v. dem königl. statist. Landesamt. Nr. 9. Besigheim. Nach der I. Aufl. v. *E. Paulus* u. *H. Bach* rev. v. *E. Fraas.* Stuttgart, H. Lindemann. 2f,50. — Begleitworte. In-4°, 24 p. 0f,65.

pezialkarte, geologische, des Grossherzogt. Baden, hrsg. v. der grossherzogl. bad. geolog. Landesanstalt. 1 : 25.000. Blatt 109 u. 119. Mit Erläutergn. In-8°. Heidelberg, C. Winter. Chaque feuille 2f,50.

pezialkarte, geologische, des Königr. Sachsen. 1 : 25.000. Hrsg. vom k. Finanzministerium. Bearb. unter der Leitg. v. *H. Credner.* Blatt 120. Leipzig. W. Engelmann. 2f,50. — Erläutergn. 107 p. av. 3 fig. 1f,25.

Steinmann (G.). — Einführung in die Paläontologie. In-8°, ix-466 p. av. 818 fig. Leipzig, W. Engelmann. 15 fr.

Stephan, des Erzherzogs, Begründers der k. k. geologischen Reichsanstalt, Briefe wissenschaftlichen, hauptsächlich geologischen Inhalts an Wilhelm Haidinger, den ersten Direktor der k. k. geologischen Reichsanstalt in Wien (1850-66). Mit e. Einleitg. u. e. Portr. des Erzherzogs. In-8°, vii-193 p. Vienne, Halm u. Goldmann. 2f,50.

Stübel (A.). — Das nordsyrische Vulkangebiet Diret el-Tulül. Hauran, Dschebel Mani u. Dscholan. Beschreibung der im Grassi-Museum zu Leipzig ausgestellten Zeichngn. der vulkan. Schöpfgn. dieses Gebietes. In-fol., 21 p. av. 1 carte. Leipzig, M. Weg. 3f,15.

—— Karte der Vulkanberge Antisana, Chacana, Sincholagua, Quilindaña, Cotopaxi, Rumiñahui u. Pasochoa. 1 : 200.000. Mit e. Begleitwort. In-8°, 12 p. Leipzig, M. Weg. 2f,50.

Tornquist (A.). — Der Gebirgsbau Sardiniens u. seine Beziehungen zu den jungen, circum-mediterranen Faltenzügen. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*). In-8°, 15 p. Berlin, G. Reimer. 0f,65.

Tschermak (G.). — Über die chonische Konstitution des Feldspate. (Extr. des *Sitzunsgber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 20 p. Vienne, C. Gerold's Sohn. 0f,50.

Walkhoff (O.). — Die diluvialen menschlichen Kiefer Belgi ns und ihre pithekoiden Eigenschaften. (Extr. de *Menschenaffe* .) In-4°, III p. et p. 373-415 av. 24 fig. Wiesbaden, C.-W. Kreid l. 13f,75.

Weinschenk (E.). — Beiträge zur Petrographie der östlichen Ze tralalpen speziell des Gross-Venedigerstockes. III. Die ko taktmetamorph. Schieferhülle u. ihre Bedeutg. f. die Leh vom allgemeinen Metamorphismus. (Extr. des *Abhandlgn.* *bayer. Akad. d. Wiss.*) In-4°, p. 261-340 av. 5 pl. et 1 car color. Münich, G. Franz. 3f,75.

Weisbach (A.). — Tabellen zur Bestimmung der Mineralien m telst äusserer Kennzeichen. 6. Aufl. Durchgesehen u. ergänzt v. *F. Kolbeck.* In-8°, VIII-120 p. Leipzig, A. Felix. 3f,75.

Went (K.). — Über einige melanokrate Gesteine des Monzo i. (Extr. des *Sitzungsber d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 51 p. av. g. et 1 pl. Vienne, C. Gerold's Sohn. 1f,65.

Zittel (K. A. v.). — Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologi . 1. Abtlg. : Invertebrata. 2. verb. u. verm. Aufl. In-8°, VIII-558 p. av. 1405 fig. Münich, R. Oldenbourg. 20f,65.

Zöppritz (A.). — Gedanken üb. Eiszeiten, ihre Ursache, i Folgen u. ihre Begleiterscheinungen. In-8°, 80 p. Dres H. Schultze. 2 fr.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Dampfturbine System Brown, Boveri-Parsons. 2. Ausg. In- 56 p. av. fig. Berlin, J. Springer. 3f,75.

Döderlein (G.). — Prüfung u. Berechnung ausgeführter Ammoniak-Kompressions-Kältemaschinen an der Hand des Indikato Diagramms. In-8°, 113 p. av. fig. Münich, H. Oldenbourg. 5 f

Föppl (A.). — Vorlesungen üb. technische Mechanik. 2. Bd. Gra phische Statik. 2. Aufl. In-8°, XII-471 p. av. 176 fig. Leipzi B.-G. Teubner. 12f,50.

Götische (G.). — Die Kältemaschinen. (Extr. du *Deut. Maschini u. Heizer.*) In-8°, 131 p. av. fig. Hambourg, J. Kriebel. 3f,15.

Herre (O.). — Moderne Dampfkesselanlagen. 2. Tl. c. Feuerrohr kessel, d. Wasserrohrkessel. (Extr. du *Dinglers polytechn Journal.*) In-4°, p. 27-93 av. fig. Mittweida, Polytechn. Buchh. 5f,6

Heubach (J.). — Der Drehstrommotor. Ein Handbuch f. Studiu u. Praxis. In-8°, XVIII-356 p. av. 163 fig. Berlin, J. Sprin ger. 12f,50.

:RIE (G.). — Skizzen zu den Vorträgen üb. Gas-, Benzin-, Petroleum u. Spiritusmotoren, sowie Wassersäulen, Heissluft- u. Kleindampfmaschinen. 5. Aufl. In-4°, 4 p., 22 pl. Mittweida, Polytechn. Buchh. 9f,40.

ESTERLIN (H.). — Untersuchungen üb. den Energieverlust des Wassers in Turbinenkanälen. In-8°, 75 p. av. 11 fig. et 5 pl. Berlin, J. Springer. 3f,75.

ROELL (R.). — Über den hydraulischen Wirkungsgrad v. Turbinen bei ihrer Verwendung als Kraftmaschinen u. Pumpen. In-8°, IV-28 p. av. 8 fig. et 3 pl. Berlin, J. Springer. 2 fr.

EHBEIN (E.). — Grundgesetze der Mechanik u. ihre Anwendung in der Maschinen-Technik. In-8°, 128 p. av. fig. Leipzig. M. Schäfer. 2f,50.

:HNEIDER (M.). — Die Maschinen-Elemente. Mit Beispielen u. zahlreichen Zeichngn. im Text wie auf Tafeln. (In 2 Bdn.) 8. Lfg. Riemen-, Seil- u. Kettenbetrieb. In-4°, p. 129-180 av. 10 pl. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 5f,65.

:MON (R.). — Mechanik. (Das Studium der Elektrotechnik in Theorie u. Praxis. Hrsg. v. A. *Kraetzer*). 1-2. Tl. In-8°, V-71 p. av. 52 fig.; V-61 p. av. 36 fig. Steglitz b. Berlin, Buchh. der litterar. Monatsberichte. 2f,50 et 2 fr.

TODOLA (A.). — Die Dampfturbinen u. die Aussichten der Wärmekraftmaschinen. Versuche u. Studien. In-8°, VIII-220 p. av. 119 fig. et 1 pl. Berlin, J. Springer. 7f,50.

LLQVIST (H.). — Lehrbuch der technischen Mechanik. I. Geometrische Bewegungslehre. Mechanik des materiellen Punktes. Statik der starren Körper. Dynamik der starren Körper. In-8°, XII-750 p. av. 473 fig. Helsingfors. 20 fr.

:ITZEL (K.-G.). — Die Schule des Maschinen-Technikers. 3. völlig neue Bearbeitg., hrsg. v. A. *Holzt*. (Paraîtra en 100-20 fasc.) 1. Heft. In-8°, 24 p. av. fig. et 1 pl. color. Leipzig. M. Schäfer. 0f,65.

°. *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

RENS (F.-B.). — Handbuch der Elektrochemie. 2. völlig neubearb. Aufl. In-8°, X-686 p. av. 293 fig. Stuttgart, F. Enke. 18f,75.

NOLD (E.). — Die Gleichstrommaschine. Theorie, Konstruktion, Berechng., Untersuchg. u. Arbeitsweise derselben. 2. Bd. Konstruktion, Berechng., Untersuchg. u. Arbeitsweise der Gleich-

strommaschine. In-8°, xv-655 p. av. 484 fig. et 11 pl. Berlin, J. Springer. 22f,50.

Bisicz (W. v.). — Anwendung u. Zukunft der Kondensatoren in der Wechselstromtechnik. In-8°, vii-88 p. av. 26 fig. Berlin, J. Springer. 3 fr.

Bloch (L.). — Der Einfluss der Kurvenform auf die Wirkungsweise des Synchronmotors. (Extrait de *Sammlg. elektrotechn. Vortr.*) In-8°, iii-76 p. av. 34 fig. Stuttgart, F. Enke. 3 fr.

Borchers (W.). — Elektro-Metallurgie. Die Gewinng. der Metalle unter Vermittlg. des elektr. Stromes. 3. verm. u. völlig umgearb. Aufl. 2. Abth. In-8°, viii p. et p. 289-578 av. 86 fig. Leipzig, S. Hirzel. 13f,75. (L'ouvrage complet 25 fr.)

Bürner (R.). — Zur wirtschaftlichen Entwickelung u. Lage der deutschen elektrotechnischen Industrie. In-8°, 15 p. Berlin, F. Siemenroth. 0f,65.

Czeija (K.). — Die experimentelle Untersuchung der Kommutationsvorgänge in Gleichstrommaschinen. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vorträge.*) In-8°, v-76 p. av. 31 fig. Stuttgart, F. Enke. 3 fr.

Erhard (T.). — Einführung in die Electrotechnik. Die Erzeugg. starker elektr. Ströme u. ihre Anwendg. zur Kraftübertrag. 2. verb. u. verm. Aufl. In-8°, viii-200 p. av. 99 fig. Leipzig, J.-A. Barth. 5f,65.

Faulenbach (F.). — Hüttenkunde. I. Eisenhüttenkunde. II. Metallurgie. In prakt. u. theoret. Beziehg. bearb. In-4°, vi-68 p. Hainichen, H. Huhn. 7f,50.

Ferchland (P.). — Grundriss der reinen u. angewandten Elektrochemie. In-8°, vii-271 p. av. 59 fig. Halle, W. Knapp. 6f,25.

Gallusser (H.) u. M. Hausmann. — Theorie u. Berechnung elektrischer Leitungen. In-8°, xi-164 p. av. 145 fig. Berlin, J. Springer. 6f,25.

Gerdes (P.). — Der angehende u. praktische Elektrochemiker nach der elektrolytischen Dissoziationstheorie bearb. In-8°. x-312 p. av. 94 fig. Leipzig, A. Felix. 9f,40.

Gründling (E.). — Elektrotechnische Plaudereien. In-8°, iii-172 p. Leipzig, H. Buschmann. 3f,75.

Heyn (E.). — Die Metallographie im Dienste der Hüttenkunde. In-8°, 43 p. av. 26 fig. Freiberg i. Sachsen, Craz u. Gerlach. 1f,25.

Holzt (A.). — Schule d. Elektrotechnikers. Ergänzgsbd. 7. Heft. Leipzig, M. Schäfer. 0f,95.

Kraetzer (A.). — Grundriss der Elektrotechnik. (Das Studium der

Elektrotechnik in Theorie u. Praxis.) 1. Tl. In-8°, VIII-91 p. av. 96 fig. Steglitz b. Berlin, Buchh. der litterar. Monatsberichte. 2f,50.

[…]AUSE (R.). — Messungen an elektrischen Maschinen. Apparate, Instrumente, Methoden, Schaltgn. In-8°, x-158 p. av. 166 fig. Berlin, J. Springer. 6f,25.

[…]NGBEIN (G.). — Handbuch der elektrolytischen (galvanischen) Metallniederschläge (Galvanostegie u. Galvanoplastik). 5., auf Grund neuester Anschaugn. u. Beobachtgn. vollständig umgearb. Aufl. In-8°, XXIII-656 p. av. 155 fig. Leipzig, J. Klinkhardt. 9f,40.

[…] BLANC (M.). — Lehrbuch der Elektrochemie. 3. verm. Aufl. In-8°, VIII-284 p. av. 31 fig. Leipzig, O. Leiner. 7f,50.

[…]DEBUR (A.). — Handbuch der Eisenhüttenkunde. Für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzg. beim Unterrichte bearb. 4., neu bearb. Aufl. 3. (Schluss.) Abth. : Das schmiedbare Eisen u. seine Darstellg. In-8°, VII p. et p. 703-1148. Leipzig, A. Felix. 21f,25.

— Leitfaden f. Eisenhütten-Laboratorien. 6. neu bearb. Aufl. In-8°, XI-139 p. av. 24 fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 4f,40.

[…]NKE (W.). — Technik der Wechselströme u. Mehrphasenströme m. Berücksicht. der wichtigsten Messmethoden. 2 Tle. In-8°, V-56 p. avec 66 fig. et V-45 p. av. 41 fig. Steglitz b. Berlin, Buchh. der litterar. Monatsberichte. Chaque partie 2 fr.

[…]MNITZ (H.). — Ein Weg zur Verringerung der Frachtkosten v. Koks u. Minette f. die rheinisch-westfälische u. lothringisch-[…]uxemburgische Eisenindustrie.(Ext. rdu *Glückauf.*) In-8°, IV-51 p. [B]erlin, J. Springer. 2 fr.

[…]NZHAUSEN (C.). — Die Gesetze des elektrischen Stromes. In-8°, […]-92 p. av. 52 fig. Steglitz b. Berlin, Buchh. der litterar. Mo[n]atsberichte. 2f,50.

[…]NASCH (B.). — Der elektrische Lichtbogen bei Gleichstrom u. [W]echselstrom u. seine Anwendungen. In-8°, XI-288 p. av. 141 fig. [B]erlin, J. Springer. 11f,25.

[…]THAMMER (F.). — Berechnung u. Entwurf elektrischer Maschi[n]en, Apparate u. Anlagen f. Studierende u. Ingenieure. (In [.] Bdn.) I. Bd. Berechnung u. Konstruktion der Gleichstrom-[M]aschinen u. Motoren. 1. Hälfte. Elektrische Berechng. der [G]leichstrom-Maschinen u. Motoren. In-8°, 284 p. av. 291 fig. Stuttgart, F. Enke. 10 fr.

— Moderne Gesichtspunkte f. den Entwurf elektrischer Maschi-

nen u. Apparate. In-8°, iv-192 p. av. 237 fig. Münich, R. Oldenbourg. 10 fr.

Paxmann (E.-H.). — Die Kali-Industrie. Betrachtungen zu ihrer neueren Entwicklg. In-8°, 64 p. Berlin, J. Guttentag. 2f,50.

Rossem (A.-C. van). — Die Aufnahme v. Kommutatordiagrammen. In-8°, 31 p. av. 19 fig. Halle, W. Knapp. 1f,90.

Schmatolla (E.). — Die Brennöfen f. Tonwaren, Kalk, Magnesit, Zement u. dergl. m. besond. Berücksicht. der Gas-Brennöfen. In-8°, vi-145 p. av. 140 fig. Hanovre, Gebr. Jänecke. 6 fr.

Schucht (L.). — Die Fabrikation des Superphosphats m. Berücksicht. der anderen gebräuchlichen Düngemittel. 2. verm. u. verb. Aufl. In-8°, xi-336 p. av. fig. et 4 pl. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 17f,50.

Schultz (G.). — Kurzes Lehrbuch der chemischen Technologie. Unter Mitwirkg. v. *J. Hofer*. In-8°, viii-364 p. av. 151 fig. Stuttgart, F. Enke. 11f,25.

Sicherheitsvorschriften f. die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen, hrsg. vom Verbande deutscher Elektrotechniker. Eingetragener Verein. I. Niederspannung. II. Hochspannung. Festgesetzt nach den Beschlüssen der Sicherheits-Kommission zu Jena vom 12-15 I. 1903. In-12, 11 p. et 44 p. doubles. Berlin, J. Springer. 1 fr.

Strott (G.-K.). — Technische Chemie f. das Bau- u. Maschinenwesen, m. besond. Rücksicht auf Baustoffe u. deren Verarbeitung. 2. verb. Aufl. Bearb. v. *R. Strott*. In-8°, viii-117 p. Holzminden, C.-C. Müller. 1f,50.

Sack (M.). — Bibliographie der Metallegierungen. (Extr. de la *Zeitschr. f. anorgan. Chemie.*) In-8°, vii-77 p. Hambourg. L. Voss. 2f,50.

Weber (C.-L.). — Erläuterungen zu den Sicherheitsvorschriften f. die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen. 9. verm. u. verb. Ausg. In-8°, ix-217 p. Berlin, J. Springer. 5 fr.

Wietz (H.) u. C. Erfurth. — Hilfsbuch f. Elektropraktiker. 4. verm. u. verb. Aufl. In-12, viii-461 p. av. 315 fig. et 1 carte. Leipzig, Hachmeister u. Thal. 3f,75.

6° *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*

Beck (R.). — Lehre v. den Erzlagerstätten. 2., neu durchgearb. Aufl. In-8°, xx-732 p. av. 257 fig. et 1 carte color. Berlin, Gebr. Borntraeger. 22f,50.

Bergbaue Steiermarks. Hrsg. v. *K.-A. Redlich*. III. *J. Hörhager*:

Das Eisensteinvorkommen bei Neumarkt in Obersteier. Extr. de l'*Œst. Ztschr. f. Berg- u. Hüttenwesen.* In-8°, 16 p. Leoben, L. Nüssler. 2f,15.

Bergpolizei-Verordnung betreffend den Salzbergbau im Verwaltungsbezirke des königl. Oberbergamts zu Halle a. S. von 1. X. 1903. In-12, 8 p. Halle, Pfeffer. 0f,15.

Cséti v. Verbó (O.). — Die neue Förderung f. vertikale Schächte m. ununterbrochenem Maschinenantrieb f. jede Teufe. In-8°, 12 p. av. 4 pl. Leipzig, A. Felix. 1f,90.

Flötzkarte des oberschlesischen Steinkohlenbeckens. Nach eigenen Aufnahmen u. anderem amtl. Material kartirt v. dem königl. Oberbergamt in Breslau. Bl. 1-9. Breslau, Priebatsch. (Complet 125 fr.)

Höfer (H.). — Taschenbuch f. Bergmänner. Unter Mitwirk. mehrerer Fachgenossen hrsg. 2. verb. u. verm. Aufl. In-8°, XII-829 p. av. 317 fig. Leoben, L. Nüssler. 17f,50.

Jicinsky (J.). — Katechismus der Grubenwetterführung m. besond. Berücksicht. der Schlagwettergruben. Für prakt. Bergleute zusammengestellt. 4. vollkommen umgearb. Aufl. des *Katechismus der Grubenwetterführg.* In-8°, V-XIII-286 p. av. 196 fig. et 3 pl. Mähr.-Ostrau, R. Papauschek. 7f,50.

Kalecsinsky (A. v.). — Die Mineralkohlen der Länder der ungarischen Krone m. besond. Rücksicht auf ihre chemische Zusammensetzung u. praktische Witchtigkeit. Mit 1 Übersichtskarte. In-8°, 324 p. Budapest, F. Kilian's Nachf. 17f,50.

Köhler (G.). — Lehrbuch der Bergbaukunde. 6., verb. Aufl. In-8°, XXIV-858 p. av. 728 fig. et 9 pl. Leipzig, W. Engelmann. 22f,50.

Kolbe (E.). — Translocation der Deckgebirge durch Kohlenabbau, die damit verbundenen Grundwasserstörungen, Gebäude- u. Grundstücksbeschädigungen, Minderwert. u. Abgeltung des Schadens. In-4°, 187 p. av. 116 fig. Oberhausen, R. Kühne. 9f,40.

Krzyzanowski (J.) u. S. Wyzocki. — Ein neues system zur Bekämpfung von Grubenbrändern. In-8°, 36 p., 1 pl. Berlin, Druck. J. Sittenfeld.

Mitteilungen aus dem Markscheiderwesen. Neue Folge. Vereinsschrift des deutschen Markscheidervereins. Im Auftrage u. unter Mitwirkg. des Vereinsvorstandes hrsg. v. *H. Ullrich* u. *H. Wernecke*. 5. Heft. In-8°, IV-111 p. av. 1 portr., 19 fig., 3 pl. et 1 tabl. Freiberg, Craz u. Gerlach. 4f,40.

Statistik des böhmischen Braunkohlenverkehrs im J. 1902. 34. Jahrg. Hrsg. v. der Direktion der Aussig-Teplitzer Eisenbahn-

Gesellschaft. In-8°, LXIII-92 p. av. 1 pl. color. Teplitz-Schönau, A. Becker. 2f,50.

TRAUTMANN (F.). — Übersichtskarte der Steinkohlen-Bergwerke im rheinisch-westfälischen Industriebezirk (Karte der Grubenfelder), auf Grund amtl. Materials gezeichnet. 1 : 80.000. 2 Bl. Av. texte in-8° de 39 p. Dortmund, Koeppen. 6f,25.

Verhandlungen u. Untersuchungen, die, der preussischen Stein- u. Kohlenfall Commission. (Extr. de la *Ztschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinen-Wesen im preuss. Staate.*) 6. Heft. In-4°, p. 527-619, av. fig. et 6 pl. Berlin, W. Ernst u. Sohn. 6f,25.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

BATHMANN. — Die Entwicklung der Eisenbahnanlagen im Norden v. Berlin seit dem J. 1890. (Extr. de la *Ztschr. f. Bauwesen.*) In-fol., 13 p. av. 17 fig. et 8 pl. Berlin, W. Ernst u. Sohn. 10 fr.

Bericht, statistischer, üb. den Betrieb der unter königl. sächsischer Staatsverwaltung stehenden Staats-u. Privat-Eisenbahnen m. Nachrichten üb. Eisenbahn-Neubau im J. 1902. Hrsg. vom königl. sächs. Finanz-Ministerium. In-4°, IV-167 p. av. 1 carte. Dresde, H. Burdach. 15f,65.

CSÉRHATI (E.) u. K. v. KANDÓ. — Elektrische Vollbahnen m. hochgespanntem Drehstrom. In-4°, 93 p. av. fig. et 6 pl. Budapest. 7f,50.

—— —— Traction électrique sur les chemins de fer par courants triphasés à haute tension. In-4°, 93 p. av. fig. et 6 pl. Budapest. 7f,50.

FLEMMING (M.) u. G. MERKEL. — Grosser Atlas der Eisenbahnen v. Mittel-Europa. I.-III. Abth. 1 : 250.000; 1 : 300.000; 1 : 500.000; 1 : 700.000. Neu bearb. u. vervollständigt. Hrsg. v. *A. Duncker.* 15. Aufl. In-fol., IV-43 p., IV-32 p., IV- 31 p., 94 et IX p. texte. Leipzig, Verlag. f. Börsen u. Finanzliteratur. 42f,50.

GEHRCKE (J.). — Preussische Gesetze f. Eisenbahnbeamte, enth. die f. den Dienstgebrauch u. die Prüfgn. wichtigsten Gesetze u. Verordngn. In-8°, XII-496 p. Dresde, G. Kühtmann. 3f,75.

HAUPTMANN (M.). — Graphische Statik. Eine Sammlg. graphostat. Konstruktionszeichngn. nebst erläut. 5 pl. av. texte. Limbach, A. Stopp. 4f,40.

HERZOG (S.). — Elektrisch betriebene Strassenbahnen. Taschenbuch f. deren Berechng., Konstruktion, Montage, Lieferungsauschreib., Projektierg. u. Betrieb. In-12, XII-475 p. av. 37 fig. et 4 pl. Münich, R. Oldenbourg. 10 fr.

KOHLFÜRST (L.). — Kristische Betrachtungen üb. die v. den fah-

renden Essenbahnzügen unmittelbar thätig zu machenden Stromschalter. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn.. Vorträge.*) In-8°, 88 p. av. 48 fig. Stuttgart, F. Enke. 3 fr.

ÕHN (T.). — Der elektrische Betrieb mittels Dreiphasen-Drehstrom auf den italienischen Vollbahnlinien im Valtellina. Juli 1903. In-4°, 55 p. av. 98 fig. et 2 cartes. Nuremberg. 3f,75.

OSE (F.). — Taschenbuch f. Monteure elektrischer Strassenbahnen. Eine Anleitg. zum Bau u. zur Unterhaltg. elektr. Strassenbahnen m. Oberleitungs- u. Akkumulatorenbetrieb. Bearb. unter Mitwirkg. v. *M. Schiemann*. In-12°, IV-131 p. av. 112 fig. Leipzig, O. Leiner. 1f,90.

ammlung der im J. 1902 auf dem Gebiete des Eisenbahnwesens hinausgegebenen Normalien u. Constitutivurkunden, sowie der in diesen Jahre ertheilten u. verlängerten Vorconcessionen. Bearb. vom statist. Departement im k. k. Eisenbahn-Ministerium. In-8°, VIII-447 p. Vienne, Hof- u. Staatsdruckerei. 3f,75.

tatistik der in den im Reichsrate vertretenen Königreichen u. Ländern im Betriebe gestandenen elektrischen Eisenbahnen, Drahtseilbahnen u. Tramways m. Pferdebetrieb, f. d. J. 1901. Bearb. im statist. Departement im k. k. Eisenbahn-Ministerium. In-4°, v-127 p. Vienne, Hof- u. Staatsdruckerei. 2f,50.

trassenbahnen, die deutschen elektrischen, Sekundär-, Klein- u. Pferdebahnen, sowie die elektrotechnischen Fabriken, Elektricitätswerke samt Hilfsgeschäften im Besitze v. Aktien-Gesellschaften. Ausg. 1903/1904. 7 vollständig umgearb. Aufl. In-8°, XII-383 p. Leipzig, Verlag f. Börsen. u. Finanzliteratur. 7f,50.

ebersichtskarte der Eisenbahnen (Haupt, Neben-, Zechen- u. Strassenbahnen), sowie der Anschlussgleise im Ruhr-Kohlen-Gebiete m. den darin im Betrieb befindlichen Zechen, Schachten u. industriellen Werken. Nach amtl. Vorlagen der königl. Eisenbahn-Direktion Essen u. des königl. Oberbergamts Dortmund. 6., neu bearb. Aufl. 1 : 80.000. Hierzu e. Verzeichnis der vorhandenen Anschlussgleise nach Stationen u. Besitzer, sowie der Zechen u. Schächte m. Nachweis ihrer Lage. In-8°, 43-4 p. Hagen, O. Hammerschmidt. 6f,25.

ereinbarungen, technische, üb. den Bau u. die Betriebseinrichtungen der Haupt- u. Nebeneisenbahnen nach den Beschlüssen der am 28., 29. u. 30. VII. 1896 zu Berlin abgeh. Vereins-Versammlung. 4. Nachtrag. In-8°, 2 p. av. 2 pl. Wiesbaden, C.-W. Kreidel. 30 fr.

ALLOTH (C.-A.). — Die Eisenbahnbremsfrage u. insbesondere e. Vorschlag zum Abbremsen auf Steilbahnen. (Extr. de la *Ztschr.*

f. Lokal- u. Strassenbahnwesen.) In-4°, 48 p. Wiesbaden, J.-F. Bergmann. 3f,50.

8° *Objets divers.*

Handbuch der Ingenieurwissenschaften in 5 Bdn. 4 Bd. : Die Baumaschinen. 2. Abtlg. Vorrichtungen u. Maschinen zur Herstellg. v. Tiefbohlöchern. Das Abbohren v. Schächten. Gesteinsbohrmaschinen, Schräm- u. Schlitzmaschinen, Tunnelbohr- u. Treibmaschinen. Die elektr. Minenzündg. Bearb. v. *G. Köhler, W. Schulz, L. Bräuler* u. *K. Zickler*. Unter Mitwirkg. v. *L. Franzius* hrsg. v. *F. Lincke*. 2. verm. Aufl. In-8°, xxiv-489-viii p., av. 367 fig. et 18 pl. Leipzig, W. Engelmann. 25 fr.

—— I Bd. Vorarbeiten, Erd-, Grund-, Strassen- u. Tunnelbau. 4. Abtlg. 2. Lfg. In-8°, xix p. et p. 273-473, av. 327 fig. et 15 pl. Leipzig, W. Engelmann. 10 fr.

—— III. Tl. Der Wasserbau. Hrsg. v. *J.-F. Bubendey, A. Frühling, F. Kreuter, T. Rehbock, E. Sonne*. 4. verm. Aufl. 4. Bd. 1. Hälfte. In-8°, 410 p. av. 601 fig. et 6 pl. Leipzig, W. Engelmann. 13f,75.

Huber (H.). — Gewichts-Tabellen f. Walzeisen aus Flusseisen. Hauptsächlich verwendbar im Brückenbau, Schiffbau, u. Hüttenfache. In-8°, 30 p. av. fig. Friedek, J. Jeitner. 3f,75.

Ledebur (A.). — Über die Bedeutung der Freiberger Bergakademie für die Wissenschaft des 18. u. 19. Jahrhunderts. In-8°, 31 p. av. 16 portraits. Freiberg i. Sachsen, Craz u. Gerlach. 1f,90.

Lehmann-Richter (E.-W.). — Prüfungen in elektrischen Zentralen m. Dampfmaschinen- u. Gasmotoren-Betrieb. In-8°, xi-277 p. av. 91 fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 10 fr.

Rohland (P.). — Der Portland-Zement vom physikalisch-chemischen Standpunkte. In-8°, v-98 p. av. fig. Leipzig, Quandt u. Händel. 3f,50.

Seyffart (J.). — Kesselhaus- u. Kalkofen-Kontrolle auf Grund gasometrischer, kalometrischer etc. Untersuchungen. Mit e. Vorwort v. *W. Hempel*. 2. bedeutend verm. Aufl. In-8°, xii-152 p. Magdeburg, Schallehn u. Wollbrück. 10 fr.

Wilcke (F.). — Der Bau v. Feuerungen, Heizungen, Kessel- u. Maschinenhäusern, Kalk- u. Ziegelöfen. In-8°, viii-216 p. av. 56 fig. Leipzig, L. Staackmann. 3f,75.

Wörterbuch, technologisches. Deutsch-Englisch-Französisch. Gewerbe u. Industrie, Civil- u. Militär-Baukunst, Artillerie u.

m. umfassend. Neu bearb. u. hrsg. von *E. v. Hoyer* u. *F. Kreuter*. 5. Aufl. 3. Bd. Französisch-Deutsch-Englisch. In-8°, VIII-790 p. Wiesbaden, J.-F. Bergmann. 15 fr.

OUVRAGES SUISSES.

Bernhardt (R.). — Die schweizerische Ostalpenbahn in historischer, technischer, kommerzieller u. volkswirtschaftlicher Beleuchtung. 1. Tl. : Allgemeines. Die Splügenbahn. Die Fern-Ortler Bahn. In-4°, IX-138 p. av. 12 cartes. Zürich, Orell Füssli. 15f,65.

Eisenbahn-Statistik, schweizerische, f. d. J. 1901. — Statistique des chemins de fer suisses pour l'année 1901. 29 Bd. Hrsg. vom schweizer. Post- u. Eisenbahndepartement. In-fol., III-235 p. Berne, H. Körber. 5 fr.

Escher (R.). — Die Schaufelung der Francis-Turbine. (Extr. de la *Schweiz. Bauzeitg.* 2. Aufl. In-4°, 6 p. av. fig. Zürich, E. Rascher's Erben. 0f,65.

Fliegner (A.). — Les distributions à changement de marche avec tiroir unique. Méthode exclusivement graphique destinée aux écoles techniques de tous degrés et aux études privées. Traduit sur la 2e éd. allemande par *P. Hoffet*. Avant-propos de *A. Mallet*. In-8°, XXIV-190 p., 7 pl. Zürich, Schulthess u. Co. 10 fr.

Kissling (E.). — Die schweizerischen Molassekohlen westlich der Reuss. (*Beiträge zur Geologie der Schweiz.*) In-4°, VIII-76 p. av. fig. et 3 pl. Berne, A. Francke. 5 fr.

Kraftgasmotoren-Anlage v. 350 P. S. der Tonwarenfabrik Embrach, ausgeführt v. der schweizer Lokomotiv- u. Maschinenfabrik in Winterthur. (Extr. de la *Schweiz. Bauzeitg.*) In-4°, 7 p. av. fig. et 1 pl. Zürich, E. Rascher's Erben. 0f,65.

Meyer (R.). — Mitteilungen üb. ausgeführte Hochdruckleitungen aus gusseisernen Muffenröhren u. die zugehörigen Apparate. (Extrait du même recueil.) In-8°, 6 p. Zürich, E. Rascher's Erben. 0f,25.

Strub (E.). — Die Vesuvbahn. Mit e. Anh. üb. die elektr. Einrichtgn. der Bahn, v. *H. Morgenthaler*. (Extr. du même recueil.) In-fol., 24 p. av. fig. Zürich, E. Rascher's Erben. 1f,65.

Monaco (E.). — Il gabinetto di geologia e mineralogia della r. scuola superiore d'agricoltura in Portici. Portici, stab. tip. Vesuviano. In-8°, 8 p. (4594)

Porro (C.). — Alpi bergamasche : carta geologica alla scala da 1 : 100.000. Milan, F. Sacchi e figli. In-16, 30 p. et 2 cartes. 7 fr. (3380)

Rey (G.). — Il monte Cervino, prefazione di *E. De Amicis*, e nota geologica di *V. Novarese*, con illustrazioni. Milan, U. Hoepli. In-4°, xvi-887 p. av. fig. et 14 pl. 25 fr. (6080)

Rovereto (G.). — Geomorfologia delle coste, ossia appunti per spiegare la genesi delle forme costiere. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 189 p. av. fig. (Extr. des *Atti della soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (4726)

Taramelli (T.). — Studio geo-idrologico del bacino della Turrite di Gallicano. Lucca, tip. A. Marchi. In-4°, 75 p. et 1 pl. (5189)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Dinaro (S.). — Atlante di macchine e caldaie, con testo e note di tecnologia. Milan, U. Hoepli. In-16°, xv-80 p. av. fig. et 112 pl. 3 fr. (3920)

Gautero (G.). — Il macchinista e fuochista, riveduto ed ampliato dall'ing. *L. Loria*, con una appendice sulle locomobili e le locomotive e col regolamento sulle caldaie a vapore. 9ª ediz. riveduta ed ampliata. Milan, U. Hoepli. In-16°, xx-194 p. av. fig. 2 fr. (3966)

Gilardi (A.). — Manuale per il conduttore e il proprietario di caldaie a vapore. Nuova edizione aumentata sia nel testo che nelle incisioni. Milan, fr. Treves. In-16°, 327 p. av. fig. 3 fr. (3270)

Giorli (E.). — Il meccanico, ad uso dei capi tecnici, macchinisti, ellettricisti, etc. 4ª ediz. ampliata. Milan, U. Hoepli. In-16°, xv-423 p. av. fig. 3 fr. ([illegible])

Malfatti (V.). — Caldaie a tubi d'acqua dei tipi leggeri e medi e loro impiego sulle navi da guerra della r. marina, con appendici sui tipi Babcoch e Wilcox, Dürr e Yarrow (pesante) largamente usati nelle marine da guerra estere. Rome, tip. L. Cecchini. In-8°, xii-136 p. av. fig. (4554)

pplications industrielles de la physique et de la chimie.

... — Il montatore elettricista. 7ª ediz. riveduta ed auata. Milan, U. Hoepli. In-16, IX-487 p. av. fig. 3 fr. (3152
s L.). — Corso di misure elettriche. Turin, tip. Salusso-1-8°, 1158-XIV-VI p. av. fig. (5934)
.) e SOLDATI (N.). — La trazione elettrica con monofasi rie. Milan, tip. soc. editr. Popolare. In-8°, 19 p. av. fig. et (5912)
C.). — Corso di fisica tecnica; parte complementare di otecnica : sunto delle lezioni alla r. scuola d'applicazione l'ingegneri in Napoli. Turin, lit. Salussolia. In-8°, VI-328 p.. (4606
rso speciale di misure elettriche (R. Scuola d'applicazione li ingegneri in Napoli). Turin, lit. Salussolia. In-8°, av. 2 vol. XXII-843 p.; XX-679-356-CVI p. 50 fr. (6024)
(E.). — Costruzioni elettromeccaniche. Turin, tip. Brane Gili. In-8°, VI-945 p. av. fig. (5448
ANI (G.). — Gli esplosivi moderni. Aquila, tip. A. Perfilia. , 89 p. (3683)
G.). — La tecnica delle correnti alternate. Vol. II : Parte itativa adatta per elettrotecnici ed ingegneri. Milan, epli. In-8°, XX-195 p. av. fig. 12 fr. (4738)
G.). — Elementi di elettrotecnica. Volume I, disp. 1-2. ., Unione tip. editrice. In-8°, 64 p. 0f,60 la livraison. (5824)

6° *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*

(E.). Rapport fait aux permissionnaires Perpignano et sur les recherches des mines de Candiazzus et Su Man-Cagliari, tip. Commerciale. In-8°, 15 p. (3229)
no (L.). — Il carbon fossile italiano in Agnana Calabria : renza. Conegliano, tip. Nardi, Brasolin e C. In-8°, 38 p. (3649)
del servizio minerario nel 1902 (Ministero di agricoltura, tria e commercio : direzione generale dell'agricoltura). ., tip. Nazionale di G. Bertero e C. In-8°, 16-CLXXXVII-433 p. pl. 4f,50. (6087)
so (G.-B.). — Le miniere di Djebel Mesloula, Djebel Ouasta,

Djebel Ouenza (Algeria); Djebel Charra, Djebel Abiod (Tunisia). Alba, tip. Sansoldi. In-8°, 60 p. et 2 pl. (4164)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Amici (V.). — Trazione elettrica, sua applicazione alla ferrovia Ascoli Piceno-Antrodoco a scartamento normale della lunghezza di kilometri 84 + 700 : studio. Ascoli Piceno, tip. Cesari. In-8°, 138 p. (5834)

Ferrara (L.). — Contributo agli studî per la misura delle superficie e dei volumi nei movimenti di terra. Naples, tip. A. Trani. In-8°, 19 p. et 1 pl. (4410)

Gallino (N.). — Raccolta dei documenti ufficiali relativi al traforo del Sempione; riscatto da parte della confederazione Elvetica delle linee ferroviarie esercitate dalla compagnia Giura-Sempione, e sue conseguenze : relazione. Gênes, tip. fr. Pagano. In-4°, 54 p. (5699)

Martinoli (L.). — L'esercizio intensivo delle ferrovie a forti pendenze ed in particolare delle ferrovie da Genova alla valle del Po : proposte. Turin, tip. Subalpina. In-4°, 16 p. (3635)

Montezemolo (L.). — Dell'ordinamento delle ferrovie italiane: studio. Turin, tip. Camilla e Bertolero di N. Bertolero. In-8°, 72 p. (5756)

Penza (P.). — Blocco semplice per garantire la libera circolazione dei treni sulle strade ferrate : relazione sommaria. Bologna, tip. A. Garagnani e figlio. In-8°, 16 p. (5073)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Pacinotti (G.). — Studî sulla condizione giuridica delle miniere secondo la legislazione fondamentale d'Italia. Milan, Soc. editr. libraria. In-8°, 15 p. (Extr. du *Filangieri.*) (5067)

Regolamento (Nuovo) per la prevenzione degli infortunî nell' esercizio delle strade ferrate approvato con r. d. 7 maggio 1903, n. 209, corredato di tutte le altre disposizioni legislative e regolamentari dal medesimo richiamate. Naples, E. Pietrocola. In-16, 15 p. 0f,20. (3711)

9° *Objets divers.*

Bacconer (I.). — Trattatello di meccanica : motori, luce, acetilene, elettricità, industrie e applicazioni pratiche. 3e ediz. con

un'appendice sull'aria liquida. Venise, C. Acerboni. In-8°, 117 p. avec fig. (5264)

Marchesani (F.). — Un'altra aeronave dirigibile; nuova applicazione di forze motrici nella direzione degli aerostati. Naples, E. Pietrocola. In-8°, 37 p. et 1 pl. (5421)

Colombo (G.). — Manuale dell'ingegnere civile e industriale. 20ª ediz. modificata e aumentata. Milan, U. Hoepli. In-16, xiv-436 p. avec fig. et 1 pl. 5f,50. (5665)

Sinigaglia (F.). — Prolusione al corso di tecnologia meccanica nella sezione industriale della r. scuola d'applicazione per gl'ingegneri di Napoli. Naples, tip. E. De Rubertis. In-4°, 17 p. (4757)

Livi (P.). — L'industria frigorifera : nozioni fondamentali, macchine frigorifere, raffreddamento dell'aria, ghiaccio artificiale e naturale, dati e calcoli numerici, nozioni di fisica e cenni sulla liquefazione dell'aria e dei gaz. Milan, U. Hoepli. In-16, xii-168 p. avec fig. et 16 tableaux. 2 fr. (4168)

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des Mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1903, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the Franklin Institute. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — American philosophical Society. *Philadelphie.*
4. — Royal Society of London. *Londres.*
5. — The quarterly Journal of the Geological Society. *Londr*
6. — Institution of civil Engineers. *Londres.*
7. — Royal Irish Academy. *Dublin.*
8. — Societa Toscana di Scienze naturali. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Mil*
10. — Société de physique et d'histoire naturelle de Genève —
11. — Société géologique de France. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — Soc. d'encouragement pour l'industrie nationale. *Paris* —
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — Kaiserlich-Königliche Geologische Reichsanstalt. *Vie*
17. — Revue générale de Chimie pure et appliquée. *Paris.*
18. — The Colliery Guardian and Journal of the Coal and I Trades. *Londres.*
19. — Royal Society of Edinburgh. *Édimbourg.*
20. — Société de l'industrie minérale. *Saint-Étienne.*
21. — Smithsonian Institution. *Washington.*
22. — Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. *Ber-li*
23. — The Metallographist. *Boston.*
24. — Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Archi-tekten-Vereins. *Vienne.*
25. — Sociedad cientifica Argentina. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift für Architektur- und Ingenieurwesen. *Hanovr*
27. — Geological Survey of India. *Calcutta.*

Berg- und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
Société industrielle de Mulhouse.
Société Chimique de Paris.
Il Politecnico. Giornale dell'Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. *Berlin.*
Société des Ingénieurs civils. *Paris.*
Bureau Central Météorologique de France. *Paris.*
Boston Society of Natural History. *Boston.*
Société linnéenne de Normandie. *Caen.*
Comité géologique de la Russie. *St-Pétersbourg.*
Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala. *Upsal.*
Königliche Ungarische geologische Anstalt. *Buda-Pest.*
The Journal of the Iron and Steel Institute. *Londres.*
The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. *Newcastle-upon-Tyne.*
Literary and Philosophical Society of Manchester.
Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Berg-akademien zu Leoben und Przibram und der Kön. Ungar. Bergakademie zu Schemnitz. *Vienne.*
Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
American Institute of Mining Engineers. *New-York.*
Reale Accademia dei Lincei. *Rome.*
American chemical Society. *New-York.*
Academy of natural Sciences of Philadelphia.
Comision del Mapa geologico de España. *Madrid.*
Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
Bureau of the Mint (Treasury Department). *Washington.*
L'Électricien. Revue générale d'électricité. *Paris.*
Giornale del Genio civile. *Rome.*
Le Génie civil. *Paris.*
Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
Annales de la Société géologique de Belgique. *Liège.*
United States geological Survey. *Washington.*
Institut royal géologique de Suède. *Stockholm.*
Field Columbian Museum. *Chicago.*
Revue de la Législation des mines. *Paris.*
Direction des travaux géologiques du Portugal. *Lisbonne.*

f. Lokal- u. Strassenbahnwesen.) In-4°, 48 p. Wiesbaden, J. F. Bergmann. 3f,50.

8° *Objets divers.*

Handbuch der Ingenieurwissenschaften in 5 Bdn. 4 Bd. : Die Baumaschinen. 2. Abtlg. Vorrichtungen u. Maschinen zur Herstellg. v. Tiefbohlöchern. Das Abbohren v. Schächten. Gesteinsbohrmaschinen, Schräm- u. Schlitzmaschinen, Tunnelbohr- u. Treibmaschinen. Die elektr. Minenzündg. Bearb. v. *G. Köhler*, *W. Schulz*, *L. Bräuler* u. *K. Zickler*. Unter Mitwirkg. v. *L. Franzius* hrsg. v. *F. Lincke*. 2. verm. Aufl. In-8°, xxiv-489-vii p., av. 367 fig. et 18 pl. Leipzig, W. Engelmann. 25 fr.

—— I Bd. Vorarbeiten, Erd-, Grund-, Strassen- u. Tunnelbau. 4. Abtlg. 2. Lfg. In-8°, xix p. et p. 273-473, av. 327 fig. et 15 pl. Leipzig, W. Engelmann. 10 fr.

—— III. Tl. Der Wasserbau. Hrsg. v. *J.-F. Bubendey*, *A. Frühling*, *F. Kreuter*, *T. Rehbock*, *E. Sonne*. 4. verm. Aufl. 4. Bd. 1. Hälfte. In-8°, 410 p. av. 601 fig. et 6 pl. Leipzig, W. Engelmann. 13f,75.

Huber (H.). — Gewichts-Tabellen f. Walzeisen aus Flusseisen. Hauptsächlich verwendbar im Brückenbau, Schiffbau, u. Hüttenfache. In-8°, 30 p. av. fig. Friedek, J. Jeitner. 3f,75.

Ledebur (A.). — Über die Bedeutung der Freiberger Bergakademie für die Wissenschaft des 18. u. 19. Jahrhunderts. In-8°, 31 p. av. 16 portraits. Freiberg i. Sachsen, Craz u. Gerlach. 1f,90.

Lehmann-Richter (E.-W.). — Prüfungen in elektrischen Zentralen m. Dampfmaschinen- u. Gasmotoren-Betrieb. In-8°, xi-27 p. av. 91 fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 10 fr.

Rohland (P.). — Der Portland-Zement vom physikalisch-chemischen Standpunkte. In-8°, v-98 p. av. fig. Leipzig, Quandt & Händel. 3f,50.

Seyffart (J.). — Kesselhaus- u. Kalkofen-Kontrolle auf Grund gasometrischer, kalometrischer etc. Untersuchungen. Mit Vorwort v. *W. Hempel*. 2. bedeutend verm. Aufl. In-8°, xii-15 p. Magdeburg, Schallehn u. Wollbrück. 10 fr.

Wilcke (F.). — Der Bau v. Feuerungen, Heizungen, Kessel- u. Maschinenhäusern, Kalk- u. Ziegelöfen. In-8°, viii-216 p. av. 56 fig. Leipzig, L. Staackmann. 3f,75.

Wörterbuch, technologisches. Deutsch-Englisch-Französisch. Gewerbe u. Industrie, Civil- u. Militär-Baukunst, Artillerie u. a.

m. umfassend. Neu bearb. u. hrsg. von *E. v. Hoyer* u. *F. Kreuter*. 5. Aufl. 3. Bd. Französisch-Deutsch-Englisch. In-8°, VIII-790 p. Wiesbaden, J.-F. Bergmann. 15 fr.

OUVRAGES SUISSES.

ERNHARDT (R.). — Die schweizerische Ostalpenbahn in historischer, technischer, kommerzieller u. volkswirtschaftlicher Beleuchtung. 1. Tl. : Allgemeines. Die Splügenbahn. Die Fern-Ortler Bahn. In-4°, IX-138 p. av. 12 cartes. Zürich, Orell Füssli. 15f,65.

Eisenbahn-Statistik, schweizerische, f. d. J. 1901. — Statistique des chemins de fer suisses pour l'année 1901. 29 Bd. Hrsg. vom schweizer. Post- u. Eisenbahndepartement. In-fol., III-235 p. Berne, H. Körber. 5 fr.

ESCHER (R.). — Die Schaufelung der Francis-Turbine. (Extr. de la *Schweiz. Bauzeitg.*) 2. Aufl. In-4°, 6 p. av. fig. Zürich, E. Rascher's Erben. 0f,65.

FLIEGNER (A.). — Les distributions à changement de marche avec tiroir unique. Méthode exclusivement graphique destinée aux écoles techniques de tous degrés et aux études privées. Traduit sur la 2e éd. allemande par *P. Hoffet*. Avant-propos de *A. Mallet*. In-8°, XXIV-190 p., 7 pl. Zürich, Schulthess u. Co. 10 fr.

KISSLING (E.). — Die schweizerischen Molassekohlen westlich der Reuss. (*Beiträge zur Geologie der Schweiz.*) In-4°, VIII-76 p. av. fig. et 3 pl. Berne, A. Francke. 5 fr.

Kraftgasmotoren-Anlage v. 350 P. S. der Tonwarenfabrik Embrach, ausgeführt v. der schweizer Lokomotiv- u. Maschinenfabrik in Winterthur. (Extr. de la *Schweiz. Bauzeitg.*) In-4°, 7 p. av. fig. et 1 pl. Zürich, E. Rascher's Erben. 0f,65.

MEIER (R.). — Mitteilungen üb. ausgeführte Hochdruckleitungen aus gusseisernen Muffenröhren u. die zugehörigen Apparate. (Extrait du même recueil.) In-8°, 6 p. Zürich, E. Rascher's Erben. 0f,25.

STRUB (E.). — Die Vesuvbahn. Mit e. Anh. üb. die elektr. Einrichtgn. der Bahn, v. *H. Morgenthaler*. (Extr. du même recueil.) In-fol., 24 p. av. fig. Zürich, E. Rascher's Erben. 1f,65.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

AMATURO (E.). — Applicazione dei metodi della geometria descrittiva alla costruzione di alcune corrispondenze nulle de lo spazio. Naples, tip. E. De Rubertis. In-8°, 12 p. (42

—— Cambiamento delle costanti della proiezione assonometric Naples, tip. E. De Rubertis. In-8°, 8 p. (420

—— Nota sulle equazioni generali dell' elasticità. Naples, tip. De Rubertis. In-8°, 11 p. (Extr. de l'*Archivio della r. universi di Napoli.*) (420

—— Sopra una particolare trasformazione dello spazio. Naple tip. E. De Rubertis. In-8°, 8 p. (420

—— Sui sistemi di sbarre elastiche. Naples, tip. E. De Ruberti In-8°, 45 p. (Extr. de l'*Archivio della r. università di Napol* (420

—— Trasformazione delle proiezioni bicentrali. Naples, tip. E. Rubertis. In-8°, 16 p. (420

CIANI (E.). — La prospettiva cavaliera a quarantacinque gra Milan, U. Hoepli. In-4°, VII-31 p. et 11 pl. 5 fr. (32

GIAMBELLI (G.-Z.). — Il problema della correlazione negli ip spazi. Milan, U. Hoepli. In-8°, 40 p. 1f,75. (Extr. des *Memorie del r. istituto lombardo di scienze e lettere*.) (44

MAGGI (A.). — Principî di stereodinamica : corso sulla forn zione, l'interpretazione e l'integrazione delle equazioni del movimento dei solidi. Milan, U. Hoepli. In-8°, XII-263 p. 7f, (33

MAGNANI (T.). — La funzione del Green per un sistema di sf esterne le une alle altre. Milan, tip. F. Pagnoni. In-8°, 59 p. av. fig. (36

MALAVASI (G.). — Equazioni a coefficienti proporzionali. Bolog tip. P. Cuppini. In-8°, 23 p. (59

MASSARI (V.). — Determinazione dei coefficienti che si presentano nel calcolo dell' integrale $\int \frac{x^n dx}{\sqrt{1 + ax + bx^2 + cx^3 + \ldots}}$.
Naples, tip. M. De Ruberti. In-8°, 33 p. 5

LANDO (L.). — Esercizi di calcolo infinitesimale. I. Messine, A. Trimarchi. In-16, 119 p. 2f,50. (1083)

SARESI (U.). – Studio delle trasformazioni cui danno origine alcune funzioni di variabile complessa secondo Riemann. Florence, tip. M. Ricci. In-8°, 36 p. av. fig. (5078)

LESE (C.). — Le accelerazioni simultanee dei punti di un solido libero in movimento. Naples, F. De Rubertis. In-8°, 27 p. (3228)

2° *Physique et Chimie.*

LIPPI (T.) e **COMANDUCCI** (E.). — La liquefazione dell'aria e dei gas. Turin, fr. Bocca. In-16, VIII-214 p. 3 fr. (3122)

DNO (A.). — Metodi analiciti quantitativi: determinazione del sublimato corrosivo e del ioduro potassico. Bologne, tip. Zamorani e Albertazzi. In-8°, 7 p. (3845)

AMICIAN (G.). - I problemi chimici nel nuovo secolo : discorso letto il 7 novembre 1903 per la solenne inaugurazione degli studî nella r. università di Bologna. Bologne, N. Zanichelli. In-8°, VII-66 p. 2 fr. (5657)

SEL (A.). — Applicazione di un nuovo metodo per le misure di gravità. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 10 p. (Extr. du *Giornale di geologia pratica.*) (4000)

NTO (L.). — Elettricità e magnetismo. Parte I : lezioni dettate nella r. univ. di Napoli. 3a ediz. Naples, lit. V. Sestito. In-8°, 334 p. av fig. 10 fr. (3694)

OLLACI (E.). — Diffusion de l'acide sulfocyanique dans les deux règnes organiques, son action sur le calomel : études. Turin, fr. Bocca. In-8°, 164 p. 4 fr. (5771)

ANDURRA (A.). — Teoria elementare del potenziale elettrico: sistemi elettrostatico ed elettromagnetico di misura. Sassari, tip. G. Gallizzi e C. In-8°, 39 p. (4741)

IDESCHI (A.-G.). — Intorno all'isteresi magnetica. Milan, l'*Elettricità*. In-8°, 44 p. av. fig. (5810)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

ATINI (E.). — Note mineralogiche sulla Valsassina. Milan, tip. degli Operai. In-16, 19 p. et 2 pl. (Extr. des *Atti della soc. ital. di. sc. naturali.*) (3142)

ENEDICTIS (G. De). — L'alluvione di Modica. Modica, C. Papa. In-16°, 100 p. 1 fr. (3159)

Monaco (E.). — Il gabinetto di geologia e mineralogia della r. scuola superiore d'agricoltura in Portici. Portici, stab. tip. Vesuviano. In-8°, 8 p. (4594)

Porro (C.). — Alpi bergamasche: carta geologica alla scala 1 : 100.000. Milan, F. Sacchi e figli. In-16, 30 p. et 2 cartes. 7 fr. (3340)

Rey (G.). — Il monte Cervino, prefazione di *E. De Amicis*, e nota geologica di *V. Novarese*, con illustrazioni. Milan, U. Hoepli. In-4°, xvi-887 p. av. fig. et 14 pl. 25 fr. (6080)

Rovereto (G.). — Geomorfologia delle coste, ossia appunti per spiegare la genesi delle forme costiere. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 189 p. av. fig. (Extr. des *Atti della soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (4726)

Taramelli (T.). — Studio geo-idrologico del bacino della Turrite di Gallicano. Lucca, tip. A. Marchi. In-4°, 75 p. et 1 pl. (5189)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Dinaro (S.). — Atlante di macchine e caldaie, con testo e note di tecnologia. Milan, U. Hoepli. In-16°, xv-80 p. av. fig. et 112 pl. 3 fr. (3920)

Gautero (G.). — Il macchinista e fuochista, riveduto ed ampliato dall'ing. *L. Loria*, con una appendice sulle locomobili e le locomotive e col regolamento sulle caldaie a vapore. 9ª ediz. riveduta ed ampliata. Milan, U. Hoepli. In-16°, xx-194 p. av. fig. 2 fr. (3966)

Gilardi (A.). — Manuale per il conduttore e il proprietario di caldaie a vapore. Nuova edizione aumentata sia nel testo che nelle incisioni. Milan, fr. Treves. In-16°, 327 p. av. fig. 3 fr. (3270)

Giorli (E.). — Il meccanico, ad uso dei capi tecnici, macchinisti, ellettricisti, etc. 4ª ediz. ampliata. Milan, U. Hoepli. In-16°, xv-423 p. av. fig. 3 fr. (4985)

Malfatti (V.). — Caldaie a tubi d'acqua dei tipi leggeri e medio loro impiego sulle navi da guerra della r. marina, con appendici sui tipi Babcoch e Wilcox, Dürr e Yarrow (pesante) largamente usati nelle marine da guerra estere. Rome, tip. L. Cecchini. In-8°, xii-136 p. av. fig. (4544)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie.*

NI (E.). — Il montatore elettricista. 7ª ediz. riveduta ed auentata. Milan, U. Hoepli. In-16, IV-487 p. av. fig. 3 fr. (3152)
RARIS (L.). — Corso di misure elettriche. Turin, tip. Salussoa. In-8°, 1158-XIV-VI p. av. fig. (5934)
ZI (G.) e SOLDATI (N.). — La trazione elettrica con monofasi a serie. Milan, tip. soc. editr. Popolare. In-8°, 19 p. av. fig. et pl. (5912)
Srè (C.). — Corso di fisica tecnica; parte complementare di lettrotecnica : sunto delle lezioni alla r. scuola d'applicazione er gl'ingegneri in Napoli. Turin, lit. Salussolia. In-8°, VI-328 p. fr. (4606)
— Corso speciale di misure elettriche (R. Scuola d'applicazione er gli ingegneri in Napoli). Turin, lit. Salussolia. In-8°, av. g., 2 vol. XXII-843 p.; XX-679-356-CVI p. 30 fr. (6024)
RELLI (E.). — Costruzioni elettromeccaniche. Turin, tip. Branoni e Gili. In-8°, VI-945 p. av. fig. (5448)
IROZZANI (G.). — Gli esplosivi moderni. Aquila, tip. A. Perfilia. In-8°, 89 p. (3683)
TORI (G.). — La tecnica delle correnti alternate. Vol. II : Parte uantitativa adatta per elettrotecnici ed ingegneri. Milan, U. Hoepli. In-8°, XX-495 p. av. fig. 12 fr. (4738)
AVI (G.). — Elementi di elettrotecnica. Volume I, disp. 1-2. Turin, Unione tip. editrice. In-8°, 64 p. 0f,60 la livraison. (5824)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

NEAU (E.). — Rapport fait aux permissionnaires Perpignano et Cocco sur les recherches des mines de Candiazzus et Su Mannau. Cagliari, tip. Commerciale. In-8°, 15 p. (3229)
STACCIO (L.). — Il carbon fossile italiano in Agnana Calabria : conferenza. Conegliano, tip. Nardi, Brasolin e C. In-8°, 38 p. (3649)
Vista del servizio minerario nel 1902 (Ministero di agricoltura, industria e commercio : direzione generale dell'agricoltura). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero e C. In-8°, 16-CLXXXVII-433 p. et 5 pl. 4f,50. (6087)
AVERSO (G.-B.). — Le miniere di Djebel Mesloula, Djebel Ouasta,

Djebel Ouenza (Algeria); Djebel Charra, Djebel Abiod (Tunisia). Alba, tip. Sansoldi. In-8°, 60 p. et 2 pl. (4164)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

AMICI (V.). — Trazione elettrica, sua applicazione alla ferrovia Ascoli Piceno-Antrodoco a scartamento normale della lunghezza di kilometri 84 + 700 : studio. Ascoli Piceno, tip. Cesari. In-8°, 138 p. (5834)

FERRARA (L.). — Contributo agli studi per la misura delle superficie e dei volumi nei movimenti di terra. Naples, tip. A. Trani. In-8°, 19 p. et 1 pl. (4410)

GALLINO (N.). — Raccolta dei documenti ufficiali relativi al traforo del Sempione ; riscatto da parte della confederazione Elvetica delle linee ferroviarie esercitate dalla compagnia Giura-Sempione, e sue conseguenze : relazione. Gênes, tip. fr. Pagano. In-4°, 54 p. (5619)

MARTINOLI (L.). — L'esercizio intensivo delle ferrovie a forti pendenze ed in particolare delle ferrovie da Genova alla valle del Po : proposte. Turin, tip. Subalpina. In-4°, 16 p. (3635)

MONTEZEMOLO (L.). — Dell'ordinamento delle ferrovie italiane : studio. Turin, tip. Camilla e Bertolero di N. Bertolero. In-8°, 72 p. (5746)

PENZA (P.). — Blocco semplice per garantire la libera circolazione dei treni sulle strade ferrate : relazione sommaria. Bologne, tip. A. Garagnani e figlio. In-8°, 16 p. (5073)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

PACINOTTI (G.). — Studi sulla condizione giuridica delle miniere secondo la legislazione fondamentale d'Italia. Milan, Soc. editr. libraria. In-8°, 15 p. (Extr. du *Filangieri.*) (5067)

Regolamento (Nuovo) per la prevenzione degli infortuni nell' esercizio delle strade ferrate approvato con r. d. 7 maggio 1903, n. 209, corredato di tutte le altre disposizioni legislative e regolamentari dal medesimo richiamate. Naples, E. Pietrocola. In-16, 15 p. 0f,20. (374[illegible])

9° *Objets divers.*

BACCONER (I.). — Trattatello di meccanica : motori, luce, acetilene, elettricità, industrie e applicazioni pratiche. 3ª ediz. con

ɔpendice sull'aria liquida. Venise, C. Acerboni. In-8°, ı. avec fig. (5264)

SANI (F.). — Un'altra aeronave dirigibile; nuova applica- · di forze motrici nella direzione degli aerostati. Naples, etrocola. In-8°, 37 p. et 1 pl. (5421)

O (G.). — Manuale dell'ingegnere civile e industriale. ediz. modificata e aumentata. Milan, U. Hoepli. In-16, 36 p. avec fig. et 1 pl. 5f,50. (5665)

LIA (F.). — Prolusione al corso di tecnologia meccanica sezione industriale della r. scuola d'applicazione per gegneri di Napoli. Naples, tip. E. De Rubertis. In-4°, 17 p. (4757)

P.). — L'industria frigorifera : nozioni fondamentali, mac- frigorifere, raffreddamento dell'aria, ghiaccio artificiale turale, dati e calcoli numerici, nozioni di fisica e cenni liquefazione dell'aria e dei gaz. Milan, U. Hoepli. In-16, 68 p. avec fig. et 16 tableaux. 2 fr. (4168)

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des Mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1903, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the Franklin Institute. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — American philosophical Society. *Philadelphie.*
4. — Royal Society of London. *Londres.*
5. — The quarterly Journal of the Geological Society. *Londres.*
6. — Institution of civil Engineers. *Londres.*
7. — Royal Irish Academy. *Dublin.*
8. — Societa Toscana di Scienze naturali. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Milan.*
10. — Société de physique et d'histoire naturelle de Genève.
11. — Société géologique de France. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — Soc. d'encouragement pour l'industrie nationale. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — Kaiserlich-Königliche Geologische Reichsanstalt. *Vienne.*
17. — Revue générale de Chimie pure et appliquée. *Paris.*
18. — The Colliery Guardian and Journal of the Coal and Iron Trades. *Londres.*
19. — Royal Society of Edinburgh. *Édimbourg.*
20. — Société de l'industrie minérale. *Saint-Étienne.*
21. — Smithsonian Institution. *Washington.*
22. — Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. *Berlin.*
23. — The Metallographist. *Boston.*
24. — Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins. *Vienne.*
25. — Sociedad cientifica Argentina. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift für Architektur- und Ingenieurwesen. *Hanovre.*
27. — Geological Survey of India. *Calcutta.*

Berg- und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
Société industrielle de Mulhouse.
Société Chimique de Paris.
Il Politecnico. Giornale dell'Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. *Berlin.*
Société des Ingénieurs civils. *Paris.*
Bureau Central Météorologique de France. *Paris.*
Boston Society of Natural History. *Boston.*
Société linnéenne de Normandie. *Caen.*
Comité géologique de la Russie. *St-Pétersbourg.*
Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala. *Upsal.*
Königliche Ungarische geologische Anstalt. *Buda-Pest.*
The Journal of the Iron and Steel Institute. *Londres.*
The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. *Newcastle-upon-Tyne.*
Literary and Philosophical Society of Manchester.
Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Berg-akademien zu Leoben und Przibram und der Kön. Ungar. Bergakademie zu Schemnitz. *Vienne.*
Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
American Institute of Mining Engineers. *New-York.*
Reale Accademia dei Lincei. *Rome.*
American chemical Society. *New-York.*
Academy of natural Sciences of Philadelphia.
Comision del Mapa geologico de España. *Madrid.*
Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
Bureau of the Mint (Treasury Department). *Washington.*
L'Électricien, Revue générale d'électricité. *Paris.*
Giornale del Genio civile. *Rome.*
Le Génie civil. *Paris.*
Revista minera y metalurgica. *Madrid.*
Annales de la Société géologique de Belgique. *Liège.*
United States geological Survey. *Washington.*
Institut royal géologique de Suède. *Stockholm.*
Field Columbian Museum. *Chicago.*
Revue de la Législation des mines. *Paris.*
Direction des travaux géologiques du Portugal. *Lisbonne.*

64. — Geological and Natural History Survey of Minneso[ta]. *Minneapolis.*
65. — K. K. Naturhistorischer Hofmuseum. *Vienne.*
66. — College of Science, Imperial University, Japan. *Tokyo.*
67. — Kais. Leopoldinisch-Carolinische deutsche Akademie d[er] Naturforscher. *Halle-sur-Saale.*
68. — Annales de la Faculté des sciences de Toulouse.
69. — New-York Academy of sciences. *New-York.*
70. — Institution of Mechanical Engineers. *Londres.*
71. — Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz. *Berne.*
72. — Department of Mines of New South Wales. *Sydney.*
73. — Revue générale des sciences pures et appliquées. *Pa[ris].*
74. — The School of Mines Quarterly. *New-York.*
75. — Geological and Natural History Survey of Canada. *Otta[wa].*
76. — La Réforme sociale. *Paris.*
77. — Société internationale des Électriciens. *Paris.*
78. — Bulletin of the Geological Society of America. *Roches[ter] (N.-Y.).*
79. — Commission internationale du Congrès des chemins de f[er]. *Bruxelles.*
80. — Association amicale des élèves de l'École nationale su[pé]rieure des mines. *Paris.*
81. — Zeitschrift für praktische Geologie. *Berlin.*
82. — The Journal of Geology, University of Chicago.
83. — Bulletin of the Department of Geology, University of Ca[li]fornia. *Berkeley.*
84. — Bulletin de l'Association des ingénieurs-électriciens so[r]t[is] de l'Institut électro-technique Montefiore. *Liège.*
85. — Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrolo[gie]. *Bruxelles.*
86. — La Revue Technique. *Paris.*
87. — American Museum of Natural History. *New-York.*
88. — Australasian Institute of Mining Engineers. *Melbourne.*
89. — Bulletin technologique de la Société des anciens élè[ves] des Écoles nationales d'Arts et Métiers. *Paris.*
90. — Mémorial du Génie Maritime. *Paris.*
91. — Associazione Elettrotecnica Italiana. *Rome.*
92. — Journal de Chimie physique. *Genève.*

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME QUATRIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

EXPLOITATION DES MINES. — GÎTES MINÉRAUX.

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

MÉCANIQUE. — MACHINES.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

BIBLIOGRAPHIE.

Deuxième semestre de 1903.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME QUATRIÈME.

Pl. I et II. — Gisement de fer spathique de l'Erzberg, près Eisene[illegible] Styrie.

Pl. III à VIII. — Gisements de fer scandinaves.

Pl. IX. — Gîtes de pétrole de Californie.

Pl. X. — Affaissements produits dans le Cheshire par l'exploitati[illegible] sel.

Pl. XI à XIII. — Richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie.

Pl. XIV à XVI. — Accidents d'appareils à vapeur survenus p[illegible] l'année 1902.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

2 — Coupe verticale du gisement

d'après A. Jugowiz

1537m

Etage des Machines

Gisement principal

X'

oupe verticale du gisement

d'après M. Vacek

Dévonien inférieur

1537m

Etage des Machines

Niveau schisteux formant la base du gisement principal

de calcaire impur

Gneiss de Blasseneck

Carrière de Sauberg

X'

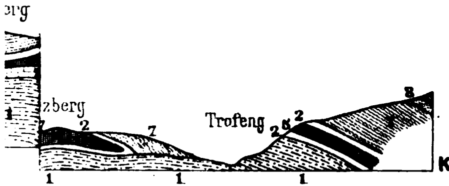
partiellement minéralisé

des fig. 2 et 4 = 1/20 000

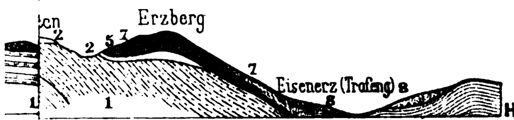
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

ᴰE

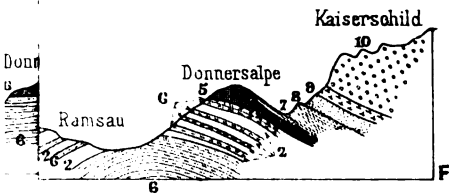
g. 4. — Coupe J K



ig. 5. — Coupe G H

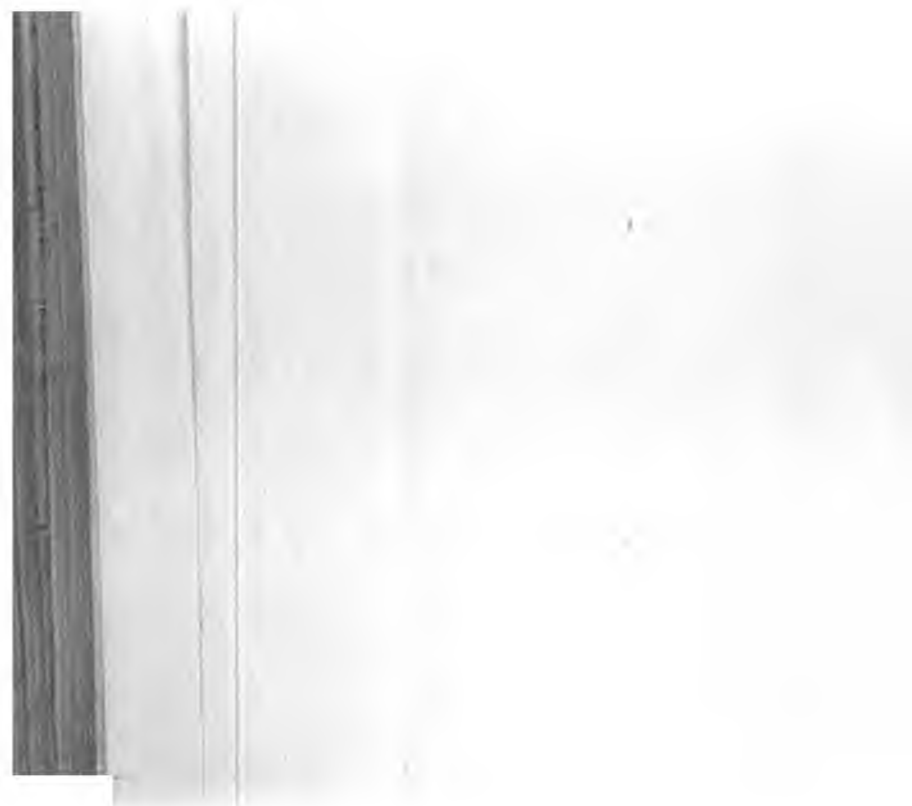


ig. 6. — Coupe E F

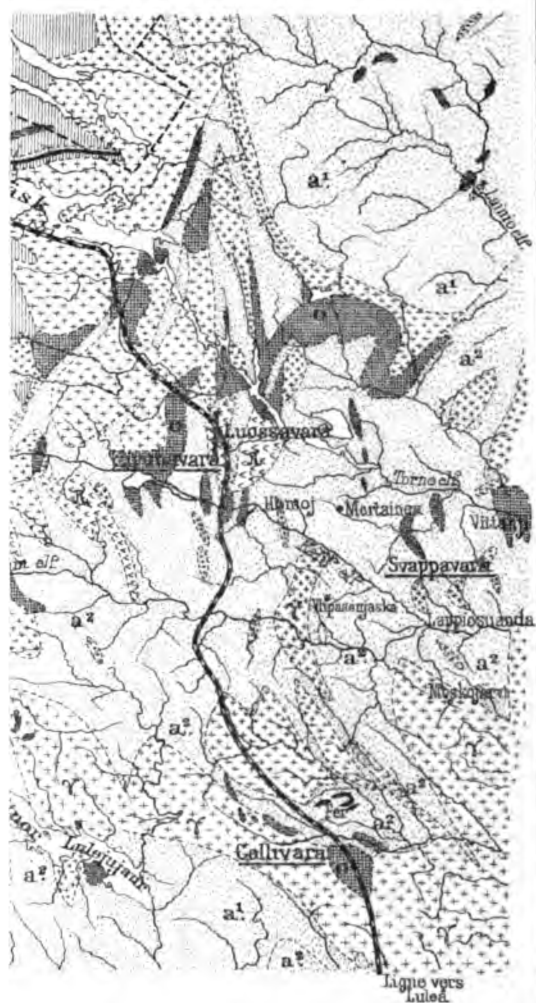


Échelle des fig. 2 à 6 = 1/75.000

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



DES MINERAIS DE FER

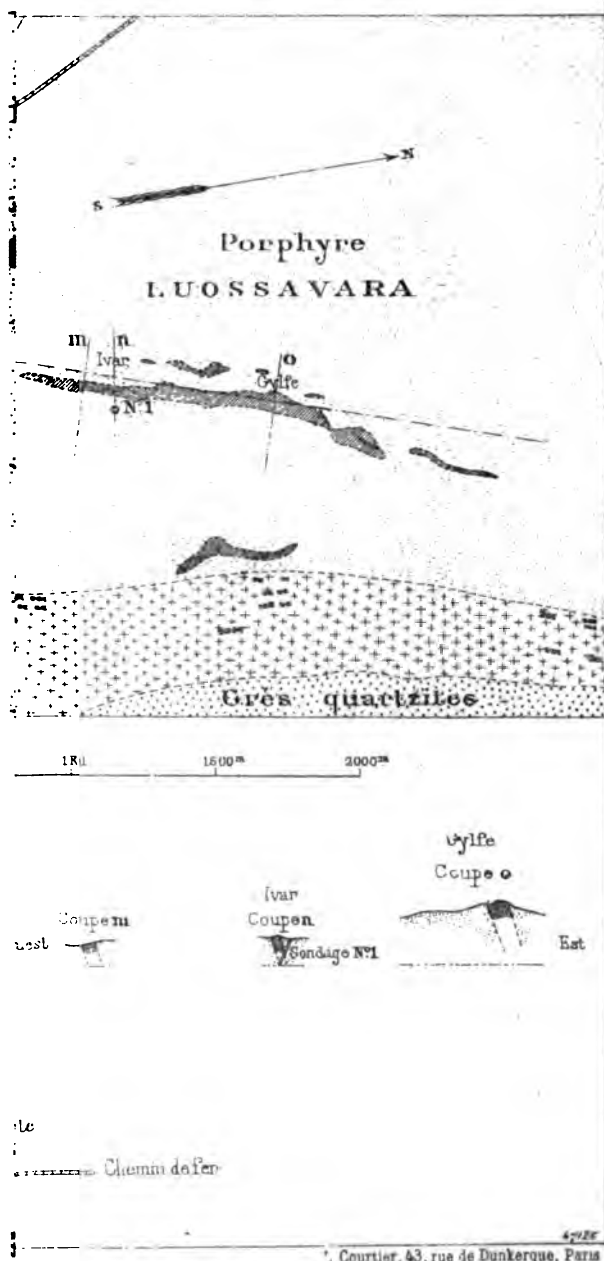


Gabbro, roches vertes, etc

Minerai de fer

Chemin de fer

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



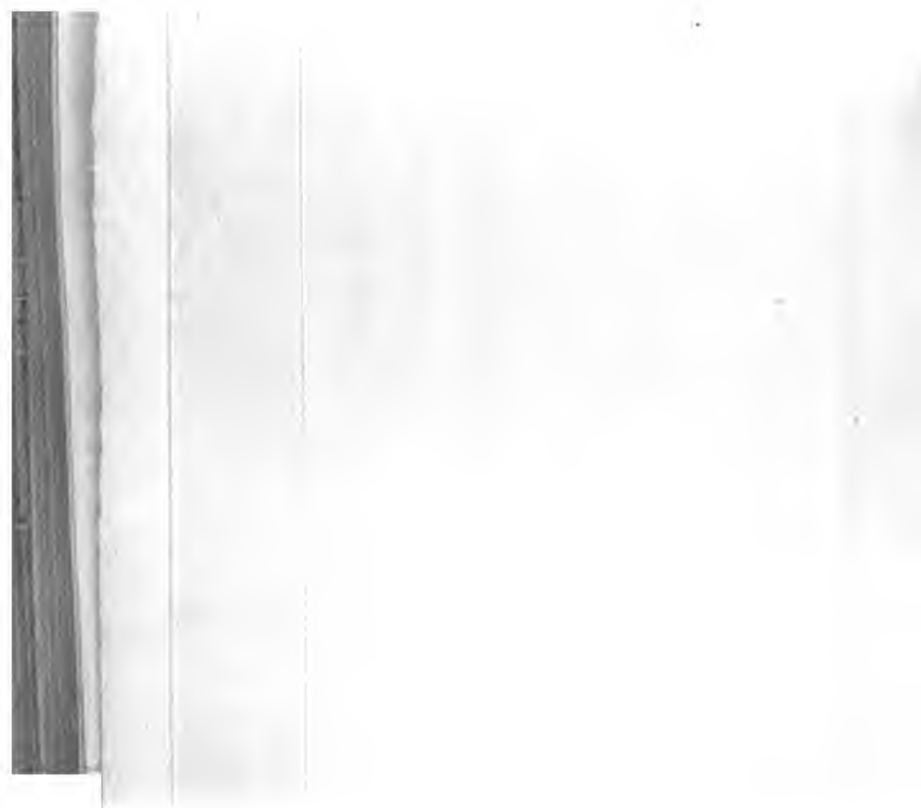
Echelle
500m

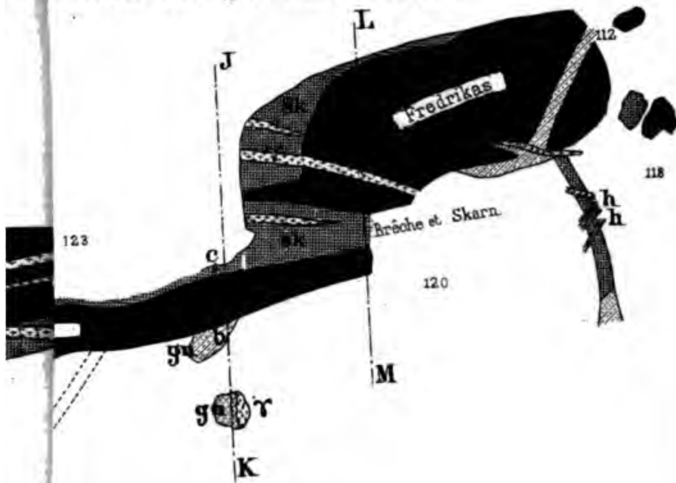
97	Na Dennevitz	115	Sa Printzskold
98	Öa Dennevitz	116	Östra Hert af Ostergold
99	Östergrafvan	117	Vestra af Schmidt
100	Sydvestra Hattafors	118	Nord af Schmidt
101	Sydvestra Ridderstolpe	119	Östra Astergottland
102	Nya Syva Ridderstolpe	120	Nya Na Hert af Ostergold
103, 104	Vestra Parta	121	Vestra Kapten
		122	Östra Kapten
		123	Nora Kapten
105	Nord vestra Bolags grufvan	124	Fredrikas Skarpning
106	Sydvestra Bolags grufvan	125	Na Fredrikas Skarpning
107	Syds Bolags grufvan	126	Vestra Bendes
108	Försöket	127	Sodra Bendes
109	Koskulls Kulle	128	Va Selet
110	Nya Östra Snnilla	129	Na Selet
11	Östra Snnilla	130	Vestra Viktor Kjellberg
	Snnilla	131	Vikt. Kjellberg
	Snnilla	132	Vikt. Kjellberg
	Nya Sodra Printzskold	133	Va Fredrikas Skärpning

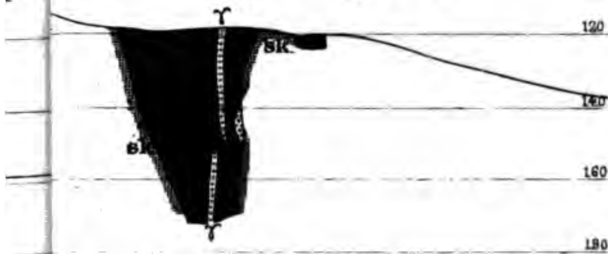
13 Östra Carl
14 Vestra Gustaf
15 Sa Gustaf
16 Sa Haldo
17 St Johan
18 Norra Johan
19 Sydv Välkommen
20 Nordv Välkommen
21 Välkomman
22 Välkomman
23 Sodra von Linné
24 Nord von Linné

hanser
hanser
iensen
Na Denn

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris





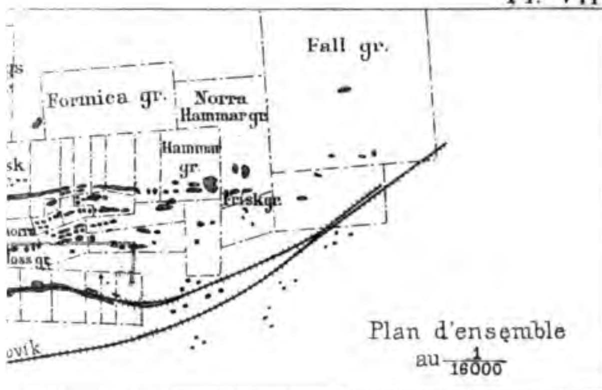


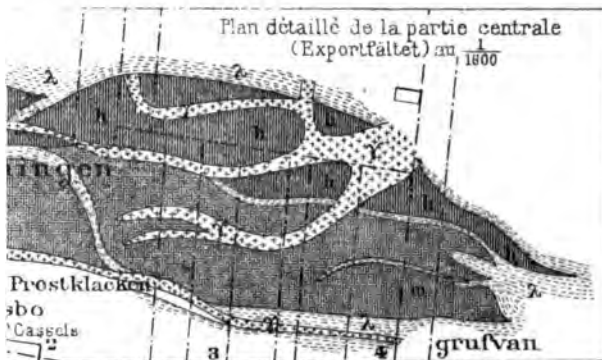


et

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

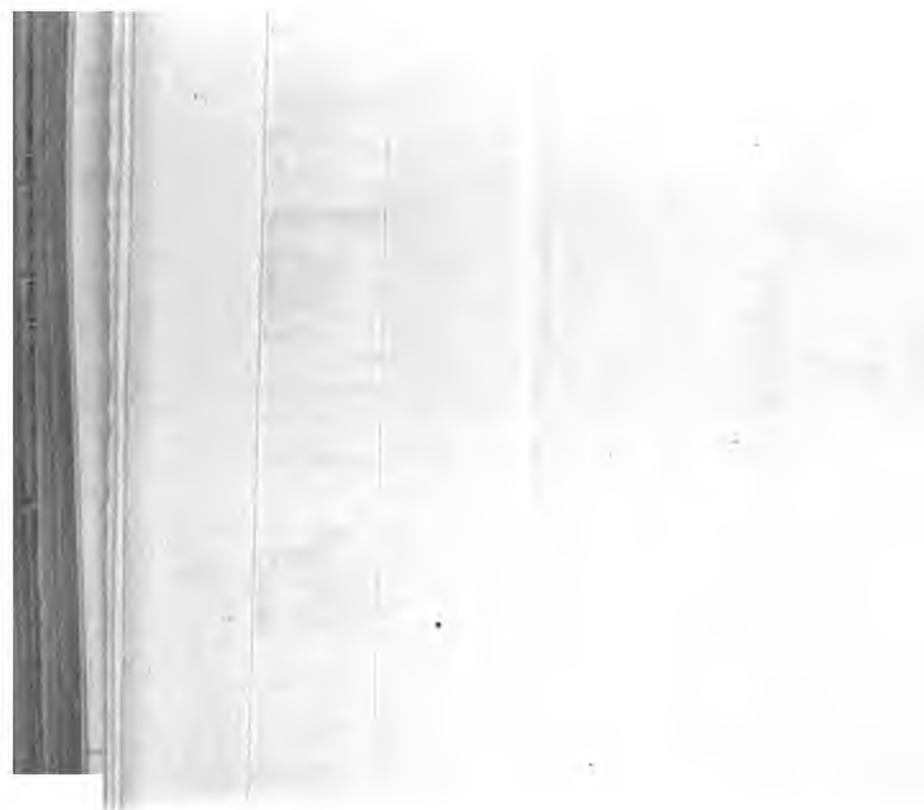


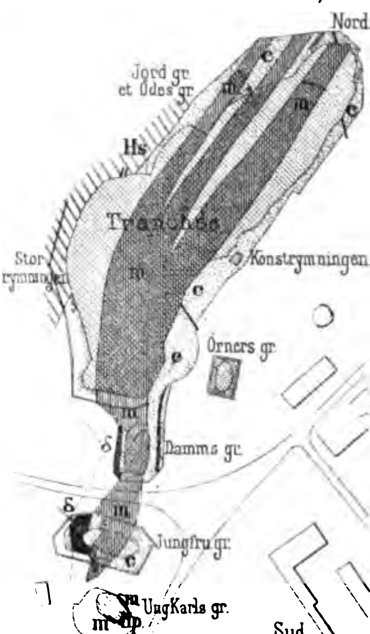


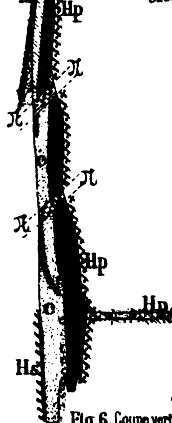




L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris




Fig. 3. Détail au 1/3200 de la tranchée principale de Dannemora (Mellan fältet)
Nord
Jord gr et Odes gr
Hs
Tranchée
Stor rymningen
Konstrymningen
Örners gr
Damms gr
Jungfru gr
UngKarls gr
Sud


Fig. 5. Coupe verticale à la Maskins gr (Zône sud) Echelle au 1/3200
Hp
Hs

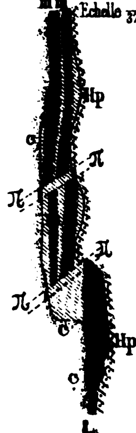
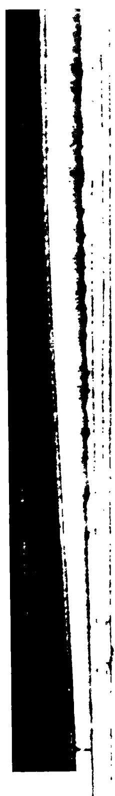
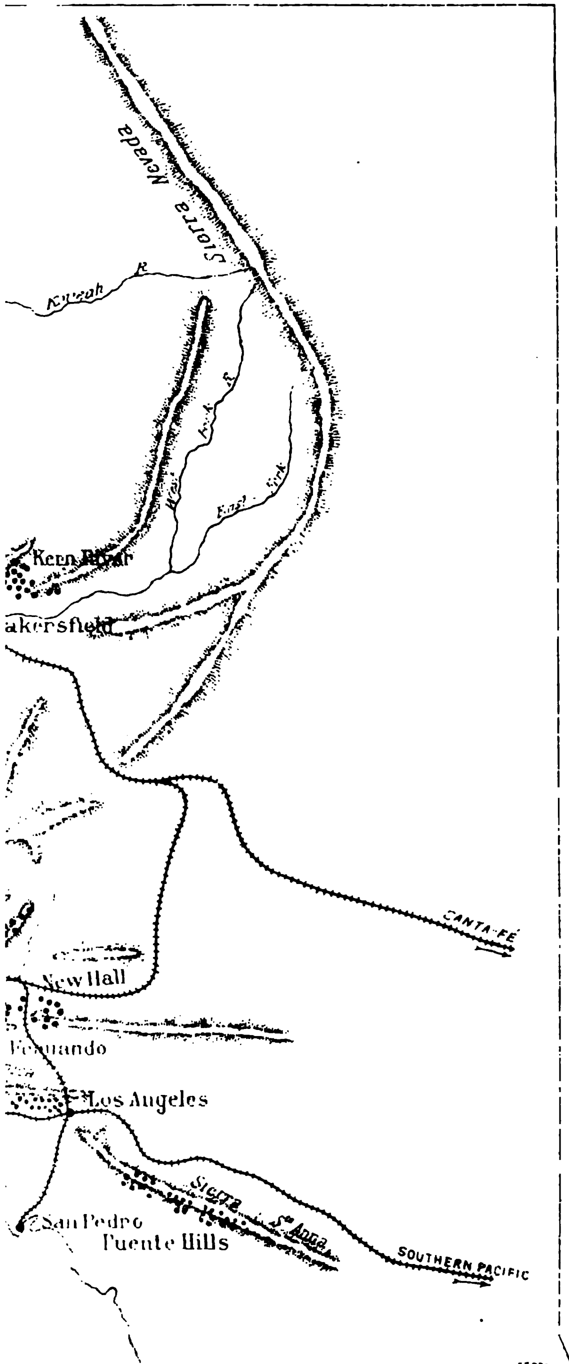

Fig. 6. Coupe verticale à la Nr Silfbergs gr (Zône Sud) Echelle 1/3200
Hp


Fig. 4. Détail au 1/3200 de la région des sulfures métallifères (Zône Sud)
Nord
Maskins gr
Norra Silfbergs gr
Hp
Norra Enighets gr
Leufsta Ekrels gr
Sodra Silfbergs gr
Krutthus skärpt
Sud


Fig. 7 Coupe verticale à la Sr Silfbergs gr (Zône Sud) Echelle 1/3200
Hp



Pl. IX.

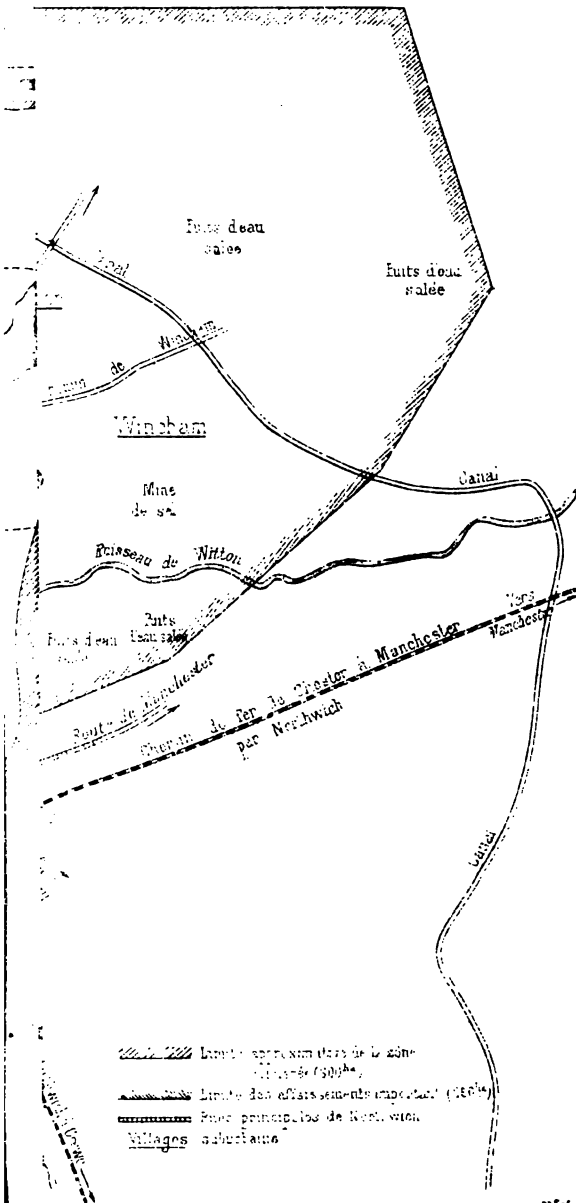


L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



E

DE NORTHWICH



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris





Légende

Lignes de niveau à 200m au dessus du niveau de la mer

id. à 500m

id. à 1000m

Sommets

Ligne de partage des eaux





Légende

Formation serpentineuse

Terrains jurassiques et crétacés à charbon

Périmètres miniers pour nickel, cobalt ou chrôme

Périmètres miniers pour charbon

Affleurements houillers

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

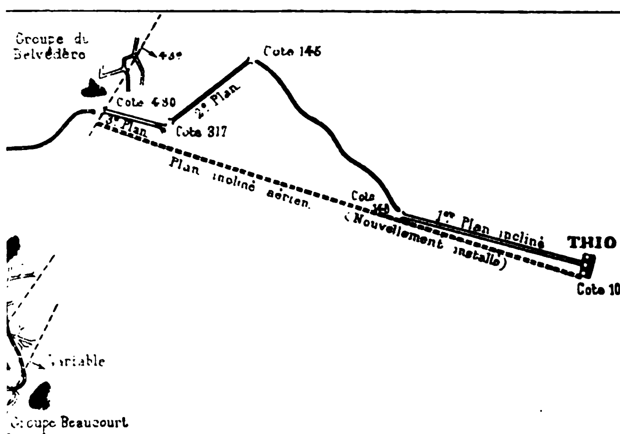
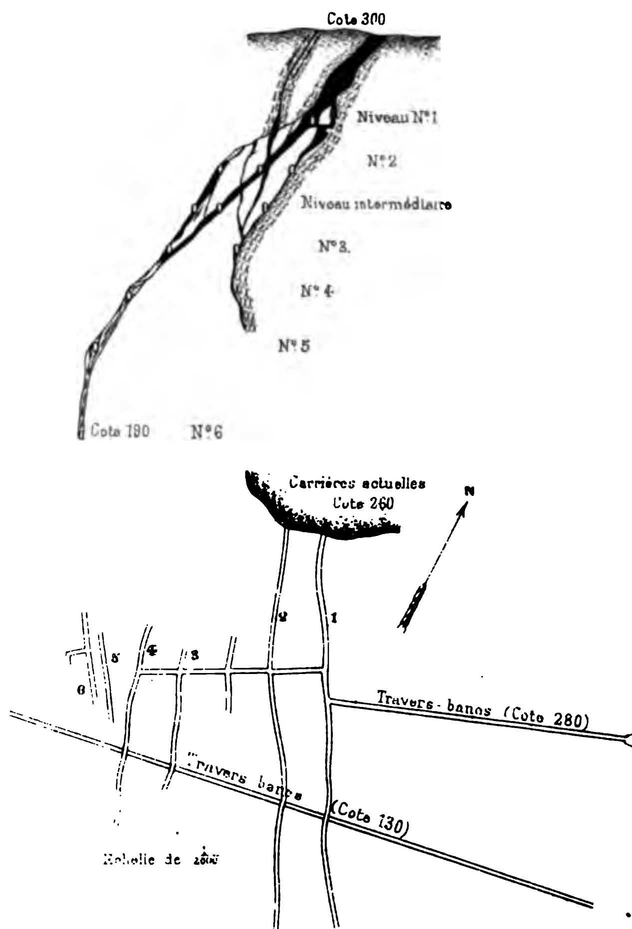


Fig. 7 Coupe et plan partiel des anciens travaux de la mine Boa-Kaine à Canala



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

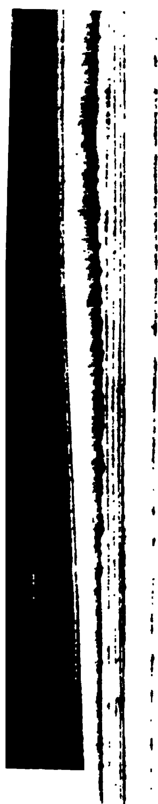




Fig. 7 Région minière de la Ouenghi





Fig. 8 Descente du minerai de la mine des Bornets jusqu'au chemin de fer de la vallée de Thio

la mine de Pri...

Légende
Argiles rou...
Terres rou... nickélifères
Minerai bré...
Concrétions
Péridotite s...

...roquis des mines

...semble Fig...

Echelle

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Chaudière du 19 Mars 1902

Fig. 9. Coupe suivt AB. Fig. 10. Coupe suivt CD.

Fig. 14 à 20. Explosion d'une locomobile le 1er Avril 1902

Fig. 14. Fig. 15.

Tube à fumée

Fig. 20. Section droite suivt la déchirure, en regardant de l'arrière du foyer vers l'avant

Fig. 18. Section droite suivt la déchirure regardant la plaque de fond du foyer

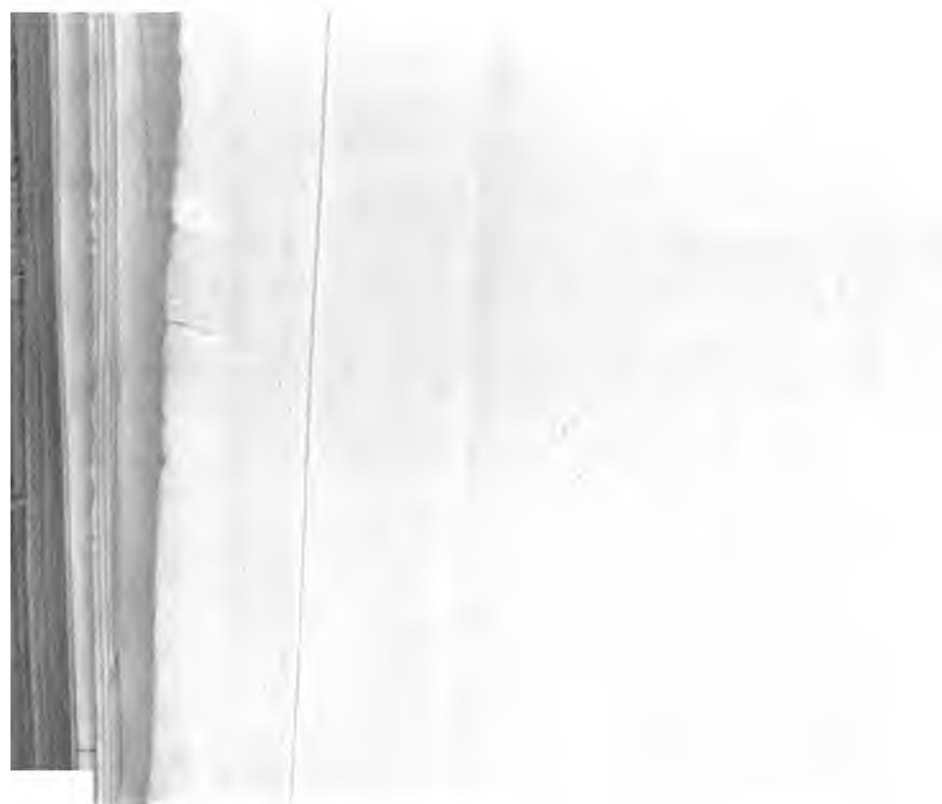
Origine de la déchirure

Origine de la rupture

Origine de la rupture

Origine de la déchirure

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Pl.XV

Fig.5.

Fig.7. Coupe suiv. CD.

Fig.8 à 11. A

Fig.8 et 9. Détails d

Fig.8. 16 à 18. Accident du 23 Août 1902

Fig.17. Coupe transversale de la chaudière

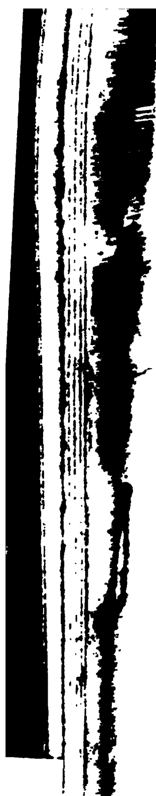
19 et 20. Accident du 2 Septembre 1902

Fig.20. Coupe en long

12 et 13. Accident d

me IV, pages 564 et

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.



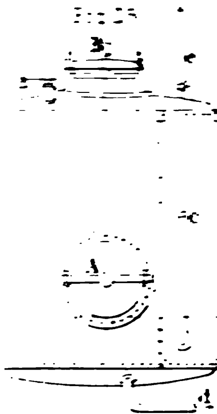


Fig 26

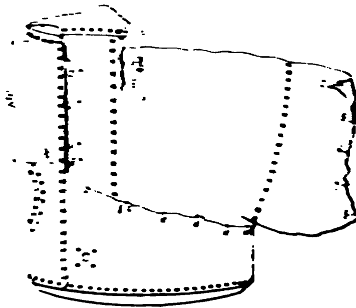


Fig 27

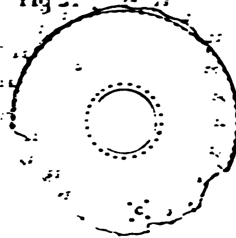


Fig 20 ...AB Fig.21 ...CD.

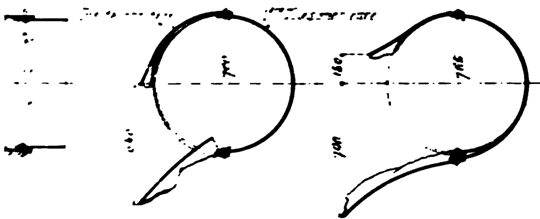
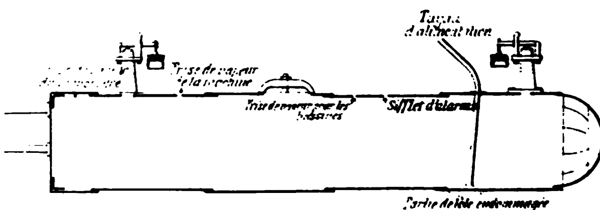
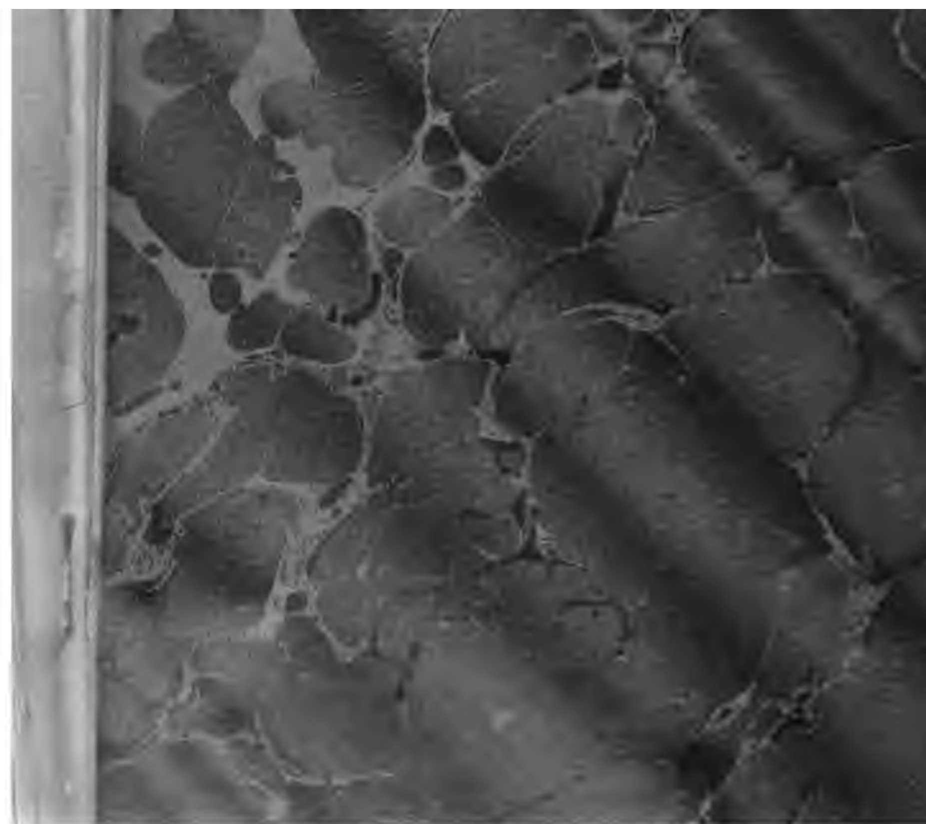


Fig.22. Explosion du 28 Novembre 1902

Coupe longitudinale de la chaudière



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris




Stanford University Libraries
3 6105 001 136 527